

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-130699

(43)Date of publication of application : 08.05.2003

(51)Int.Cl.

G01F 1/66

(21)Application number : 2001-329654

(71)Applicant : TOKYO ELECTRIC POWER CO
INC:THE
TAKEDA YASUSHI

(22)Date of filing : 26.10.2001

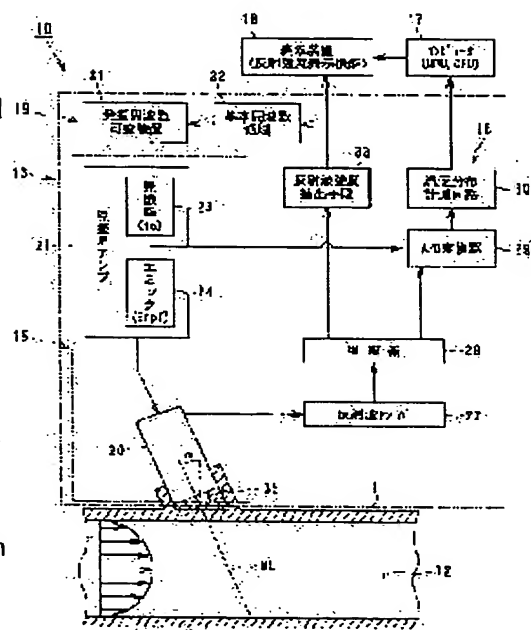
(72)Inventor : MORI HARUTSUGU
TEZUKA KENICHI
TAKEDA YASUSHI

(54) DOPPLER-TYPE ULTRASONIC FLOWMETER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a high versatile Doppler-type ultrasonic flowmeter which can easily and accurately measure the flow rate of fluid to be measured flowing inside various kinds of fluid piping without being in contact.

SOLUTION: The Doppler-type ultrasonic flowmeter is composed of an ultrasonic transmitting means 15 which injects ultrasonic wave pulses into a fluid pipe 11 from an ultrasonic transducer 20, a means for measuring distribution of fluid velocity 16 which receives ultrasonic echoes reflected from a measuring region in the fluid pipe 11 and measures the distribution of fluid velocity of the fluid to be measured 12, a means for calculating flow rate of fluid 17 which calculates the flow rate from the distribution of fluid velocity of the fluid to be measured 12, and a setting means for selecting frequency 19 which automatically selects the basic frequency of the ultrasonic wave causing a resonating/ transmitting phenomenon from the ultrasonic transducer 20. The setting means for selecting frequency 19 controls and drives the ultrasonic transmitting means 15 so that the ultrasonic wave with an optimal frequency selected is transmitted from the ultrasonic transducer 20.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

06.10.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

BEST AVAILABLE COPY

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] An ultrasonic transmitting means to carry out incidence of the ultrasonic pulse to the measured fluid which flows the inside of fluid piping from an ultrasonic transducer, A velocity-distribution measurement means to receive the ultrasonic echo reflected from the measurement field in fluid piping among the ultrasonic pulses by which incidence was carried out to the measured fluid, and to measure the velocity distribution of the measured fluid in the above-mentioned measurement field, A fluid flow rate operation means to compute the flow rate of a measured fluid based on the velocity distribution of the above-mentioned measured fluid, It has a frequency-selective setting means to choose automatically the fundamental frequency of the supersonic wave which produces a resonance-transparency phenomenon from an ultrasonic transducer to the tube wall of said fluid piping. This frequency complement setting means is a Doppler type ultrasonic flowmeter characterized by carrying out actuation control of said ultrasonic transmitting means so that the supersonic wave of the selected optimum frequency may be oscillated from an ultrasonic transducer.

[Claim 2] Said oscillation frequency complement setting means is the Doppler type ultrasonic flowmeter according to claim 1 with which the oscillation frequency of an ultrasonic pulse was chosen so that an accommodation setup of the oscillation frequency of the ultrasonic pulse oscillated from an ultrasonic transducer might be carried out automatically and the integral multiple of the ultrasonic half-wave length might serve as wall thickness of fluid piping.

[Claim 3] The amplifier for an oscillation with which said oscillation frequency complement setting means oscillates the supersonic wave of a necessary oscillation frequency from an ultrasonic transducer, The oscillation frequency adjustable equipment which enables an accommodation setup of adjustable [of the oscillation frequency of this amplifier for an oscillation], A frequency-domain setting means to operate oscillation frequency adjustable equipment in the frequency domain specified beforehand, An ultrasonic receiving means to receive the ultrasonic echo reflected from the measurement field in fluid piping among the ultrasonic pulses oscillated from said ultrasonic transducer, It is the Doppler type ultrasonic flowmeter according to claim 1 or 2 with which it had the reflected wave on-the-strength extract means which extracts the reinforcement of the received ultrasonic echo and is made to memorize, and extract selection actuation of an oscillation frequency is repeatedly performed, and the optimum frequency of a supersonic wave chose said oscillation frequency-selective setting means automatically.

[Claim 4] Said Doppler type ultrasonic flowmeter is further equipped with the incident angle accommodation setting means which carries out an accommodation setup of whenever [incident angle / of the ultrasonic pulse by which incidence is carried out into a measured fluid from said ultrasonic transducer]. So that this incident angle accommodation setting means may serve as whenever [incident angle / which an ultrasonic pulse makes produce a resonance-transparency phenomenon to the tube wall of fluid piping] The Doppler type ultrasonic flowmeter according to claim 1 which prepared the ultrasonic transducer in fluid piping possible [an accommodation setup], and combined said frequency-selective setting means and the incident angle accommodation setting means.

[Claim 5] An ultrasonic transmitting means to carry out incidence of the ultrasonic pulse to the measured fluid which flows the inside of fluid piping from an ultrasonic transducer, A fluid velocity-distribution measurement means to receive the ultrasonic echo reflected from the measurement field in fluid piping among the ultrasonic pulses by which incidence was carried out to the measured fluid, and to measure the velocity distribution of the measured fluid in the above-mentioned measurement field, A fluid flow rate operation means to compute the flow rate of a measured fluid based on the velocity distribution of the above-mentioned measured fluid, It has the incident angle accommodation setting means which carries out an accommodation setup of whenever [incident angle / of the ultrasonic pulse by which incidence is carried out into a measured fluid from said ultrasonic transducer]. This incident angle accommodation setting means The Doppler type ultrasonic flowmeter characterized by preparing an ultrasonic transducer in fluid piping possible [an accommodation setup] so that it may become whenever [angle-of-incidence / which an ultrasonic pulse makes produce a resonance-transparency phenomenon to the tube wall of fluid piping].

[Claim 6] The ultrasonic transducer by which said angle-of-incidence accommodation means was formed in fluid piping from the outside, Whenever [incident angle / of the ultrasonic pulse oscillated from this ultrasonic transducer] The incident angle translator in which an accommodation setup is possible, An incident angle field setting means to operate the above-mentioned incident angle translator within the limits of the incident angle field specified beforehand, Receive the ultrasonic echo reflected from the measurement field in fluid piping among the ultrasonic pulses oscillated from said ultrasonic transducer, and the reinforcement of an ultrasonic echo is extracted. It is the Doppler type ultrasonic flowmeter according to claim 5 with which it had a reflected wave on-the-strength extract means to memorize, and extract selection actuation of whenever [ultrasonic pulse incident angle] is repeatedly performed, and said incident angle accommodation setting means chose whenever [optimal ultrasonic pulse incident angle] automatically.

[Claim 7] Said ultrasonic transducer is the Doppler type ultrasonic flowmeter according to claim 5 or 6 which carried out an accommodation setup of whenever [angle-of-incidence / of the ultrasonic pulse oscillated from an ultrasonic transducer] by preparing whenever [champing-angle] in the outside of fluid piping free [accommodation], and choosing whenever [champing-angle / of the above-mentioned ultrasonic transducer] by the angle-of-incidence translator.

[Claim 8] It is the Doppler type ultrasonic flowmeter which is equipped with the ultrasonic transducer migration device make the 1st supersonic wave by which it was prepared in fluid piping, a transducer, the 2nd ultrasonic transducer estranged and prepared in the shaft orientations of fluid piping from this ultrasonic transducer, and the 1st ultrasonic transducer move relatively [transducer / 2nd / ultrasonic], and is characterized by to be arranged both said supersonic-waves transducer so that the ultrasonic pulse oscillated may intersect perpendicularly in the measurement field in fluid piping.

[Claim 9] With the reflected wave receiver which receives the ultrasonic echo which is a reflected wave, respectively from the measurement field in fluid piping of the ultrasonic pulse by which said Doppler type ultrasonic flowmeter was oscillated from said 1st and 2nd ultrasonic transducers A velocity vector calculation means to compute the velocity vector of the direction of an ultrasonic measurement line from the ultrasonic echo reinforcement received with each reflected wave receiver, respectively, It has further a rate-of-flow vector calculation means to compute the rate-of-flow vector of a measured fluid from the vector sum of the velocity vector computed with each velocity vector calculation means. The Doppler type ultrasonic flowmeter according to claim 8 which computes the flow rate of a measured fluid from the velocity distribution of the direction of a measurement line in fluid piping computed with the rate-of-flow vector calculation means.

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the Doppler type ultrasonic flowmeter which measures the flow rate of a measured fluid using the doppler shift of a supersonic wave, especially adjusts automatically whenever [optimum frequency / of a supersonic wave /, or optimal incident angle], and relates to the Doppler type ultrasonic flowmeter which can be set up.

[0002]

[Description of the Prior Art] It is divided roughly into the flowmeter which measures the rate of flow and flow rate of the measured fluid which flows the inside of fluid piping by two kinds by the measurement principle.

[0003] The 1st flowmeter measures a flow rate using the amount of processes of flowing fluid changing the inside of fluid piping to a flow direction, and there is an orifice meter in this kind of flowmeter. An orifice meter measures a flow rate by the orifice upstream and the downstream using the pressures of a fluid differing, and calls such a flow rate measurement approach "average approximation" below.

[0004] The 2nd flowmeter is mainly used for the hydrometry of the flow in piping, such as a tube.

[0005] The rate of flow of an one point of the flow in piping, for example, the predetermined point on a tube axis, is measured, the velocity-distribution configuration in piping is assumed from a theoretical value based on the obtained measured value, this flowmeter is integrated with this velocity-distribution configuration, and a flow rate is calculated. Such a hydrometry approach is called "approximation integration" below.

[0006] The ultrasonic flowmeter which irradiates a supersonic wave at the measured fluid which is the measuring object, and measures the flow rate of a fluid in a flowmeter on the other hand is known.

[0007] It is divided roughly into what measures a flow rate by average approximation in this ultrasonic flowmeter, and the thing which measures a flow rate by approximation integration.

[0008] The ultrasonic flowmeter which adopted average approximation is with the case where an ultrasonic pulse progresses towards the upstream of the flow of a fluid in the time amount taken for an ultrasonic pulse to pass through for two points of fixed spacing, and that case where it progresses towards the lower stream of a river of flow conversely, it uses that only the rates of the flow of a fluid differ, asks for the mean velocity for two predetermined points, and measures a flow rate.

[0009] Moreover, the ultrasonic flowmeter which adopted approximation integration finds the rate of the measured fluid of one on the medial axis of piping using the doppler shift method, measures a flow rate from this fluid rate, and has some which were indicated by JP,6-294670,A. The ultrasonic flowmeter of this approximation integration is integrated in quest of the form of a velocity distribution from a theoretical value or a rule of thumb. For example, in the laminar-flow field in piping, since a velocity distribution appears in a parabola, it can calculate a flow rate by using the boundary condition in a tube wall using the fluid rate measured on the medial axis.

Since this theoretical solution is strictly materialized to the flow of a steady state, the ultrasonic flowmeter of approximation integration can be applied only to the flow of a steady state, and cannot respond to the flow of an unstationary state.

[0010] Generally, the flow of viscous fluid is well known as an equation (henceforth a NS equation) of Navia SUTOUSUKU (Navier-Stokes). The conventional ultrasonic flowmeter disregards the time amount differential term of a NS equation, and is calculating the flow rate using the knowledge of flow distribution over a steady state. For this reason, a flow rate is changed in time, when the flowing space (flow field of a fluid) where approximation integration is not enacted is the measuring object, the accuracy of measurement falls remarkably or there is a possibility that the effectiveness of a measurement result may be spoiled.

[0011] The flowing space where the fluctuation time amount of a flow rate system is shorter than time amount required as such flowing space to take out an average stream flow, and the flowing space where flow is not fully developed are mentioned. In the case of the former, the time amount differential term of a NS equation does not become zero, and, in the case of the latter, single dimension approximation of a NS equation is not materialized.

[0012] Since it was flow rate measurement of the flow of a steady state while it is necessary to take the very long in-run who makes the upstream of for example, a measurement part stationary-ize flow and the conventional flowmeter takes time amount, cost, and an effort in a piping facility, in order to be flow rate measurement in a steady state and to perform hydrometry in sufficient precision, it was difficult to perform flow rate measurement of the flow of an unstationary state.

[0013] Moreover, since the conventional flowmeter makes the average stream flow of flowing fluid the measuring object for the inside of closed piping, such as a tube, it cannot measure the local flow rate of a bigger flow rate system. For example, the characteristic flow rate measurement accompanied by the time variation near the inlet port of a very big mixing vessel or near an outlet was not able to be measured in which flowmeter.

[0014] By the way, to the flow of the measured fluid in the flow rate place of three-dimensions space being expressed with the vector quantity of three dimensions, in piping, the conventional flowmeter assumes the flow of a single dimension and performs flow rate measurement. For this reason, even if it is in closed piping, when flow is in three dimensions, the accuracy of measurement of a flow rate gets very bad, or becomes impossible. For example, immediately after piping bent like elbow piping or U character-like reversal piping, the flow of a fluid is in three dimensions according to a centrifugal-force operation, and even if it installs the conventional flowmeter in such a location, flow rate measurement cannot be performed correctly.

[0015] Then, this invention person etc. proposed the Doppler type ultrasonic flowmeter which can measure the flow rate of a measured fluid with a sufficient precision according to non-contact correctly by the time-dependent even if it is the flow of an unstationary state on the Japanese-Patent-Application-No. No. 272359 [ten to] specifications using the doppler shift of a supersonic wave.

[0016] This Doppler type ultrasonic flowmeter applied the technique of computing a direct flow rate from the momentary velocity distribution of the measured fluid which flows the inside of fluid piping, and carried out the knowledge of having a high precision and responsibility in flow rate measurement of a measured fluid.

[0017]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Also in the conventional Doppler type ultrasonic flowmeter, to perform flow rate measurement of the measured fluid which flows the inside of fluid piping with simple and big versatility is desired.

[0018] In order to measure smoothly and smoothly the rate of flow of the measured fluid which flows the inside of fluid piping various with a Doppler type ultrasonic flowmeter, it is necessary to fully secure the transparency effectiveness of a supersonic wave also to fluid piping of various wall thickness, and to secure sufficient reflected wave S/N ratio.

[0019] In the conventional Doppler type ultrasonic flowmeter, the transparency property of the metal wall of a supersonic wave was investigated by changing the thickness of a metal wall, and

it has set up so that the thickness of fluid piping may become the optimal.

[0020] However, by application to the system of a Doppler type ultrasonic flowmeter, it is impossible to change various thickness of fluid piping, the ultrasonic flowmeter which has the optimal ultrasonic transparency property for every class of fluid piping must be prepared, and versatility is low.

[0021] This invention was made in consideration of the situation mentioned above, and sets it as the main purposes to offer the high Doppler type ultrasonic flowmeter of the versatility which can, easy moreover, measure correctly the flow rate of the measured fluid which flows the inside of various fluid piping with a sufficient precision by easy and non-contact.

[0022] Other purposes of this invention select automatically whenever [optimum frequency / of the supersonic wave which produces a resonance-transparency phenomenon to the various wall thickness of fluid piping /, or optimal incident angle / of a supersonic wave], and are to offer the Doppler type ultrasonic flowmeter which can measure the flow rate of a measured fluid with a sufficient precision correctly using the doppler shift of a supersonic wave.

[0023] Furthermore, even if other purposes of this invention are the opaque or translucent liquids which cannot apply the optical hydrometry approach, they are to offer the Doppler type ultrasonic flowmeter which can measure a flow rate with a sufficient precision correctly.

[0024] Another purpose of this invention is to offer the Doppler type ultrasonic flowmeter which can measure correctly the measured fluid which flows the inside of fluid piping with a sufficient precision, even if a revolution style and the flow which is not parallel to piping arise within fluid piping.

[0025]

[Means for Solving the Problem] In order that the Doppler type ultrasonic flowmeter concerning this invention may solve the technical problem mentioned above An ultrasonic transmitting means to carry out incidence of the ultrasonic pulse to the measured fluid which flows the inside of fluid piping from an ultrasonic transducer as indicated to claim 1, A velocity-distribution measurement means to receive the ultrasonic echo reflected from the measurement field in fluid piping among the ultrasonic pulses by which incidence was carried out to the measured fluid, and to measure the velocity distribution of the measured fluid in the above-mentioned measurement field, A fluid flow rate operation means to compute the flow rate of a measured fluid based on the velocity distribution of the above-mentioned measured fluid, It has a frequency-selective setting means to choose automatically the fundamental frequency of the supersonic wave which produces a resonance-transparency phenomenon from an ultrasonic transducer to the tube wall of said fluid piping. This frequency complement setting means carries out actuation control of said ultrasonic transmitting means so that the supersonic wave of the selected optimum frequency may be oscillated from an ultrasonic transducer.

[0026] In order to solve the technical problem mentioned above, moreover, the Doppler type ultrasonic flowmeter concerning this invention As indicated to claim 2, said oscillation frequency-selective setting means An accommodation setup of the oscillation frequency of the ultrasonic pulse oscillated from an ultrasonic transducer is carried out automatically. As the oscillation frequency of an ultrasonic pulse was chosen so that the integral multiple of the ultrasonic half-wave length might serve as wall thickness of fluid piping, and indicated to claim 3, further said oscillation frequency-selective setting means The amplifier for an oscillation which oscillates the supersonic wave of a necessary oscillation frequency from an ultrasonic transducer, The oscillation frequency adjustable equipment which enables an accommodation setup of adjustable [of the oscillation frequency of this amplifier for an oscillation], A frequency-domain setting means to operate oscillation frequency adjustable equipment in the frequency domain specified beforehand, An ultrasonic receiving means to receive the ultrasonic echo reflected from the measurement field in fluid piping among the ultrasonic pulses oscillated from said ultrasonic transducer, The reinforcement of the received ultrasonic echo is extracted, it has the reflected wave on-the-strength extract means made to memorize, and extract selection actuation of an oscillation frequency is performed repeatedly, and the optimum frequency of a supersonic wave chooses said oscillation frequency-selective setting means automatically.

[0027] In order to solve the technical problem mentioned above, furthermore, the Doppler type ultrasonic flowmeter concerning this invention As indicated to claim 4, said Doppler type ultrasonic flowmeter It has further the incident angle accommodation setting means which carries out an accommodation setup of whenever [incident angle / of the ultrasonic pulse by which incidence is carried out into a measured fluid from said ultrasonic transducer]. This incident angle accommodation setting means An ultrasonic transducer is prepared in fluid piping possible [an accommodation setup], and said frequency-selective setting means and an angle-of-incidence accommodation setting means are combined so that it may become whenever [angle-of-incidence / which an ultrasonic pulse makes produce a resonance-transparency phenomenon to the tube wall of fluid piping].

[0028] On the other hand, the Doppler type ultrasonic flowmeter concerning this invention An ultrasonic transmitting means to carry out incidence of the ultrasonic pulse to the measured fluid which flows the inside of fluid piping from an ultrasonic transducer as indicated to claim 5 in order to solve the technical problem mentioned above, A fluid velocity-distribution measurement means to receive the ultrasonic echo reflected from the measurement field in fluid piping among the ultrasonic pulses by which incidence was carried out to the measured fluid, and to measure the velocity distribution of the measured fluid in the above-mentioned measurement field, A fluid flow rate operation means to compute the flow rate of a measured fluid based on the velocity distribution of the above-mentioned measured fluid, It has the incident angle accommodation setting means which carries out an accommodation setup of whenever [incident angle / of the ultrasonic pulse by which incidence is carried out into a measured fluid from said ultrasonic transducer]. This incident angle accommodation setting means An ultrasonic transducer is prepared in fluid piping possible [an accommodation setup] so that it may become whenever [angle-of-incidence / which an ultrasonic pulse makes produce a resonance-transparency phenomenon to the tube wall of fluid piping].

[0029] In order to solve the technical problem mentioned above, furthermore, the Doppler type ultrasonic flowmeter concerning this invention As indicated to claim 6, said incident angle accommodation means Whenever [incident angle / of the ultrasonic pulse oscillated from the ultrasonic transducer prepared in fluid piping from the outside, and this ultrasonic transducer] The incident angle translator in which an accommodation setup is possible, An incident angle field setting means to operate the above-mentioned incident angle translator within the limits of the incident angle field specified beforehand, Receive the ultrasonic echo reflected from the measurement field in fluid piping among the ultrasonic pulses oscillated from said ultrasonic transducer, and the reinforcement of an ultrasonic echo is extracted. It has a reflected wave on-the-strength extract means to memorize. Said incident angle accommodation setting means As extract selection actuation of whenever [ultrasonic pulse incident angle] is performed repeatedly, and whenever [optimal ultrasonic pulse incident angle] is chosen automatically and being further indicated to claim 7 Whenever [champing-angle] is prepared in the outside of fluid piping free [accommodation], and said ultrasonic transducer carries out an accommodation setup of whenever [angle-of-incidence / of the ultrasonic pulse oscillated from an ultrasonic transducer] by choosing whenever [champing-angle / of the above-mentioned ultrasonic transducer] by the angle-of-incidence translator.

[0030] On the other hand, the Doppler type ultrasonic flowmeter concerning this invention The 1st supersonic wave and transducer which were prepared in fluid piping as indicated to claim 8 in order to solve the technical problem mentioned above, The 2nd ultrasonic transducer estranged and prepared in the shaft orientations of fluid piping from this ultrasonic transducer, It has the ultrasonic transducer migration device in which the 1st ultrasonic transducer is made to move relatively [transducer / 2nd / ultrasonic], and said both supersonic-waves transducer is arranged so that the ultrasonic pulse oscillated may intersect perpendicularly in the measurement field in fluid piping.

[0031] In order to solve the technical problem mentioned above, furthermore, the Doppler type ultrasonic flowmeter concerning this invention As indicated to claim 9, said Doppler type ultrasonic flowmeter With the reflected wave receiver which receives the ultrasonic echo which is a reflected wave, respectively from the measurement field in fluid piping of the ultrasonic pulse

oscillated from said 1st and 2nd ultrasonic transducers A velocity vector calculation means to compute the velocity vector of the direction of an ultrasonic measurement line from the ultrasonic echo reinforcement received with each reflected wave receiver, respectively, It has further a rate-of-flow vector calculation means to compute the rate-of-flow vector of a measured fluid from the vector sum of the velocity vector computed with each velocity vector calculation means, and the flow rate of a measured fluid is computed from the velocity distribution of the direction of a measurement line in fluid piping computed with the rate-of-flow vector calculation means.

[0032]

[Embodiment of the Invention] The gestalt of operation of the Doppler type ultrasonic flowmeter concerning this invention is explained with reference to an accompanying drawing.

[0033] Drawing 1 is drawing showing the 1st operation gestalt of the Doppler type ultrasonic flowmeter concerning this invention. The Doppler type ultrasonic flowmeter 10 measures the velocity distribution of the measured fluids 12, such as a liquid which flows the inside of the fluid piping 11, and a gas, and measures a flow rate by the time-dependent in an instant.

[0034] The Doppler type ultrasonic flowmeter 10 is equipped with the ultrasonic velocity-distribution measurement unit (henceforth a UVP unit) 13 which measures the rate of flow of the measured fluid 12 which flows the inside of the fluid piping 11 by non-contact. An ultrasonic transmitting means 15 by which the UVP unit 13 makes the ultrasonic pulse of a necessary frequency (fundamental frequency f_0) transmit to the measured fluid 12 along with the measurement line ML. A fluid velocity-distribution measurement means 16 to receive the ultrasonic echo which is a reflected wave from the measurement field of the ultrasonic pulse by which incidence was carried out to the measured fluid 12, and to measure the velocity distribution of the measured fluid 12 in a measurement field, The computers 17, such as a microcomputer as a fluid flow rate operation means to carry out data processing based on the velocity distribution of the measured fluid 12, to integrate with radial, and to calculate the flow rate of the measured fluid 12 by the time-dependent, and CPU, MPU, It has a frequency-selective setting means 19 to select automatically the supersonic wave of the optimum frequency of the measured fluid 12 which flows the display 18 which can be displayed serially, and the fluid piping 11 in the output from this computer 17.

[0035] The ultrasonic transmitting means 15 has the ultrasonic transducer 20 which oscillates the ultrasonic pulse of a necessary frequency, and the amplifier 21 for an oscillation as a signal generator which oscillates this ultrasonic transducer 20. The amplifier 21 for an oscillation is equipped with the oscillator (oscillator) 23 made to generate the electrical signal of the necessary fundamental frequency f_0 , and the emitter 24 (frequency f_{rpf}) which outputs the electrical signal from this oscillator 23 in the shape of a pulse to predetermined every time interval ($1/f_{rpf}$), and the pulse electrical signal of the necessary fundamental frequency f_0 is inputted into the ultrasonic transducer 20 from the amplifier 21 for an oscillation which is this signal generator.

[0036] The ultrasonic pulse of fundamental frequency f_0 is made to send the ultrasonic transducer 20 along with the measurement line ML by impression of a pulse electrical signal. An ultrasonic pulse is a beam of rectilinear-propagation nature which has almost no flare with the pulse width of about 5mm.

[0037] The ultrasonic transducer 20 serves as the transceiver machine, and the ultrasonic transducer 20 receives the ultrasonic echo in which the sent ultrasonic pulse is reflected in the reflector in a fluid. A reflector is a foreign matter with which it is the air bubbles uniformly contained in the measured fluid 12, or is particle, such as metaled impalpable powder, or acoustic impedances differ in the measured fluid 12.

[0038] It is received by the reflected wave receiver 27 and the ultrasonic echo received by the ultrasonic transducer 20 is changed into an echo electrical signal with this reflected wave receiver 27. After this echo electrical signal is amplified with an amplifier 28, digital processing is carried out through A/D converter 29, and it is inputted into the velocity-distribution measurement circuit 30 where this digital echo signal constitutes a fluid velocity-distribution measurement means. The electrical signal of the fundamental frequency f_0 from the amplifier 21

for an oscillation is digitized by the velocity-distribution measurement circuit 30, it is inputted into it, change of the rate of flow based on a doppler shift is measured from the delta frequency of both signals in it, and the velocity distribution of the measurement field which meets the measurement line ML is computed in it. The velocity distribution in the cross section of the fluid piping 11 is measurable by proofreading the velocity distribution of a measurement field with the tilt angle α .

[0039] On the other hand, an optimum value is chosen with the frequency-selective setting means 19 so that the fundamental frequency f_0 of the ultrasonic pulse oscillated from the ultrasonic transducer 20 may produce a resonance-transparency phenomenon to the wall thickness of the fluid piping 11. The metal wall transparency property of a supersonic wave carried out the knowledge of the very high thing, when the wall thickness of the fluid piping 11 was $1/2$ of the fundamental frequency f_0 of a supersonic wave, or its integral multiple.

[0040] The frequency-selective setting means 19 which can choose freely and automatically the necessary fundamental frequency f_0 which produces a resonance-transparency phenomenon is incorporated to various kinds of fluid piping 11, without changing the thickness of the tube wall of the fluid piping 11 to this Doppler type ultrasonic flowmeter 10 based on this knowledge.

[0041] The amplifier 21 for an oscillation with which this frequency complement setting means 19 oscillates the supersonic wave of a necessary oscillation frequency (fundamental frequency f_0) from an ultrasonic transducer, The oscillation frequency adjustable equipment 31 which enables an accommodation setup of adjustable [of the oscillation frequency of this amplifier 21 for an oscillation], A fundamental-frequency field setting means 32 to operate oscillation frequency adjustable equipment 31 within limits beforehand specified as this oscillation frequency adjustable equipment 31, for example, the inside of a 200kHz - 4MHz frequency domain, With the reflected wave receiver 27 as an ultrasonic receiving means which receives the ultrasonic echo reflected from the measurement field in said fluid piping 11 The reflected wave on-the-strength extract means 33 which extracted the reinforcement of an ultrasonic echo signal and was equipped with the memory made to memorize after amplifying the received ultrasonic echo signal with amplifier 28, It has the display 18 equipped with the reflected wave display function on the strength as which it is extracted by this reflected wave on-the-strength extract means 33, and the memorized reflectivity (ultrasonic echo reinforcement) is displayed.

[0042] Although a deer is carried out, the frequency complement setting means 19 carries out excitation of the ultrasonic transducer 20 with the amplifier 21 for an oscillation and an ultrasonic pulse is oscillated, the oscillation frequency f_0 of the amplifier 21 for an oscillation is determined based on the output signal of oscillation frequency adjustable equipment 31. In the frequency domain beforehand appointed with the fundamental-frequency field setting means 32, oscillation frequency adjustable equipment 31 has set up the oscillation frequency of the amplifier 21 for an oscillation free [adjustable].

[0043] Extract selection actuation of the oscillation frequency of a supersonic wave is repeatedly performed by collaboration operation of the reflected wave on-the-strength extract means 33 and oscillation frequency adjustable equipment 31 grade, the optimum frequency of the supersonic wave which produces a resonance-transparency phenomenon to the wall thickness of the fluid piping 11 is chosen automatically, and the frequency-selective setting means 19 is set up.

[0044] If the optimum frequency of a supersonic wave is chosen and set up, the oscillation frequency of the amplifier 21 for an oscillation will be determined by the output signal from oscillation frequency adjustable equipment 31, excitation of the ultrasonic transducer 20 will be carried out with this amplifier 21 for an oscillation, and the ultrasonic pulse of the necessary fundamental frequency f_0 which is optimum frequency will be sent in the fluid piping 11 from the ultrasonic transducer 20.

[0045] Since the ultrasonic pulse of optimum frequency is sent from the ultrasonic transducer 20, sufficient reflected wave S/N ratio can be secured and the large signal of the ultrasonic echo which is a reflected wave can be taken. In order to take a large ultrasonic echo signal, it is important to choose the fundamental frequency f_0 of the supersonic wave which produces a resonance-transparency phenomenon to the wall thickness (wall thickness of the measurement

line ML direction) of the fluid piping 11.

[0046] If the wall thickness of the fluid piping 11 becomes the integral multiple of the ultrasonic half-wave length, according to a mesomeric effect, the ultrasonic permeability in the interface of the fluid piping 11 will increase remarkably, and the ultrasonic echo signal which is a reflected wave from the reflector of the measured fluid 12 will increase as a result of increase of ultrasonic permeability.

[0047] Therefore, if the optimal fundamental frequency f_0 is chosen for the oscillation frequency of the ultrasonic pulse oscillated from the ultrasonic transducer 20 to the wall thickness of the fluid piping 11 by the frequency complement setting means 19, since attenuation in an ultrasonic path (transit way of the measurement line ML direction) will become small and the ultrasonic permeability in the interface of the fluid piping 11 will increase, sufficient reflected wave reinforcement can be obtained.

[0048] In addition, in drawing 1, a sign 35 is the contact medium which might make it have made it oscillate smoothly the supersonic wave oscillated from the ultrasonic transducer 20 in the fluid piping 11. The contact medium 35 is formed in order to make small the acoustic impedance by which is oscillated from the ultrasonic transducer 20 and incidence is carried out into the fluid piping 11 and to make sound switching good.

[0049] Moreover, although the reflected wave receiver 27 received the ultrasonic echo which is the reflected wave of an ultrasonic pulse with the 1st operation gestalt, it is not necessary to necessarily form the reflected wave receiver 27 independently, and a reflected wave receiver may make it build in the reception function of the ultrasonic transducer 20.

[0050] Next, with reference to drawing 2, the working principle of the Doppler type ultrasonic flowmeter 10 is explained.

[0051] As shown in drawing 2 (A), after only the include angle α has leaned and installed the ultrasonic transducer 20 in the flow direction of a measured fluid to the radiation direction of the fluid piping 11. When incidence of the ultrasonic pulse of the necessary fundamental frequency f_0 is carried out from the ultrasonic transducer 20, as this ultrasonic pulse is reflected in the measured fluid 12 on the measurement line ML in reflectors, such as air bubbles distributed uniformly and a foreign matter, and it is shown in drawing 2 (B). It is set to ultrasonic echo a which is a reflected wave, and is returned to the ultrasonic transducer 20. In addition, in drawing 2 (B), Sign b is a multiple reflection echo reflected with the tube wall by the side of ultrasonic pulse incidence, and Sign c is a multiple reflection echo reflected with an opposite side tube wall. Dispatch spacing of the ultrasonic pulse sent from the ultrasonic transducer 20 is $1/\text{Frpf}$.

[0052] And if filtering processing of the echo signal sent by the ultrasonic transducer 20 is carried out and a velocity distribution is measured along with the measurement line ML using the doppler shift method, it will be displayed like drawing 2 (C). This velocity distribution can be measured with the fluid-velocity-distribution measurement means 16 of the UVP unit 13.

[0053] If an ultrasonic pulse is emitted into the measured fluid 12 which flows the inside of the fluid piping 11, it will be reflected by the reflector of mixture or uniform distribution into the measured fluid 12, and the doppler shift method will serve as an ultrasonic echo, and will apply the principle in which only the magnitude to which the frequency of this ultrasonic echo is proportional to the rate of flow carries out a frequency shift.

[0054] Moreover, the velocity-distribution signal of the measured fluid 12 measured with the ultrasonic fluid velocity-distribution measurement means 16 can be sent to the computer 17 as a fluid flow rate operation means, can integrate with a velocity-distribution signal to radial [of the fluid piping 11] here, and can calculate the flow rate of the measured fluid 12 by the time-dependent. If the flow rate in the time amount t of this measured fluid 12 is set to $m(t)$, it can express with a degree type.

[0055]

[Equation 1]

$$m(t) = \rho \int v(x \cdot t) \cdot dA \quad \dots\dots(1)$$

但し、 ρ : 被測定流量の密度

$v(x \cdot t)$: 時間 t における速度成分 (x 方向)

[0056] (1) Flowing flow rate [of time amount t] $m(t)$ can rewrite the fluid piping 11 from a formula to a degree type.

[0057]

[Equation 2]

$$m(t) = \rho \iint v_x(r \cdot \theta \cdot t) \cdot r \cdot dr \cdot d\theta \quad \dots\dots(2)$$

但し、 $v_x(r \cdot \theta \cdot t)$: 時間 t における配管横断面上の中心から距離 r ,

角度 θ の管軸方向の速度成分

[0058] (2) From a formula, the Doppler type ultrasonic flowmeter 10 can acquire the spatial distribution of the flow of the measured fluid 12 with the speed of response of instant, for example, 50msec(s), - 100msec extent. the case where time fluctuation exists by the case where sufficient run-up section cannot be taken even if the measured fluid 12 is the flow in the fluid piping (tube) 11, closing motion of a valve, a Start pump, a halt, etc. -- the flow of a fluid -- an unstationary state -- three-dimensions distribution -- ****, although it is since this Doppler type ultrasonic flowmeter 10 can search for the velocity distribution of a measurement field by the time-dependent in an instant -- the flow rate of the measured fluid 12 -- a steady state and an unstationary state -- how cannot be asked but it can ask with a sufficient precision correctly.

[0059] Moreover, the verification test of the transparency property of the supersonic wave oscillated from the ultrasonic transducer 20 using the Doppler type ultrasonic flowmeter 10 concerning this invention was performed.

[0060] Drawing 3 is a test result which shows the wall surface transparency property of a supersonic wave.

[0061] The Doppler type ultrasonic flowmeter 10 used for this trial used what minces 5kHz of fundamental frequency of the supersonic wave oscillated from the ultrasonic transducer 20 by the frequency complement setting means 19 from 200kHz to several MHz, for example, 2MHz, comes out, and could be made to carry out an accommodation setup automatically.

[0062] The wall surface radiographic examination of a supersonic wave embeds stainless steel at a part of acrylic piping of 250mmphi, installs the ultrasonic transducer 20 in the exterior of this stainless steel wall, carries out incidence of the supersonic wave, changes fundamental frequency and investigates the reflectivity of the supersonic wave from an acrylic piping opposite side-attachment-wall side. The transparency curves h , i , and j of the reflected wave when changing fundamental frequency by 5kHz unit on the strength are shown.

[0063] In the wall surface radiographic examination of a supersonic wave, the wall thickness of stainless steel prepared three kinds which are 9.5mm, 11.5mm, and 13mm. Drawing 3 shows the example of a wall surface radiographic examination of the supersonic wave by the stainless steel of 9.5mm of wall thickness. An axis of abscissa is the fundamental frequency f_0 of a supersonic wave, and an axis of ordinate is the reflectivity of the supersonic wave from an opposite wall. The characteristic frequency of three kinds of used ultrasonic transducers is 0.25MHz, 0.5MHz, and 1MHz, and the transparency curve on the strength is expressed with Signs h , i , and j , respectively.

[0064] On the other hand, in drawing 3, arrow heads l , m , and n show the oscillation frequency wavelength of a supersonic wave, and the relation of the wall thickness of stainless steel, and show a $1/2$, 1 time of the wall thickness of stainless steel, and $3/2$ twice as many frequency location as this from the one where ultrasonic wavelength is lower.

[0065] When using a 1MHz ultrasonic transducer, for example, and it doubles with the wall thickness of stainless steel piping, fundamental frequency is set as about 910kHz and flow rate

measurement is performed from drawing 3, it turns out that the transparency property of a supersonic wave is good. The transparency curve j of a frequency on the strength is understood that the transparency reinforcement of a reflected wave is high in the location of an arrow head n .

[0066] Next, based on the transparency property of the supersonic wave shown in drawing 3, fluid piping of the carbon steel (bore of 150mm) of 9.5mm of wall thickness was prepared, the thing with a characteristic frequency [of the ultrasonic transducer 20] of 1MHz was used, a selection setup of the fundamental frequency f_0 oscillated from the ultrasonic transducer 20 was carried out with the frequency-selective setting means 19 at 910kHz, and the velocity distribution of a measured fluid was measured.

[0067] The time average velocity-distribution result of the measured fluid obtained by this measurement trial is shown in drawing 4. The measure point of the velocity distribution of a measured fluid was performed in 60mm - 150mm. Although it was more difficult than the tubing core of fluid piping of carbon steel to acquire velocity distribution sufficient for reflection of the supersonic wave in the interior of a wall in a near side (the range of 0mm - 60mm), from the tubing core, in the measurement field by the side of them, the effect of a wall surface did not appear in the velocity distribution of the measured fluid 12, but the comparatively smooth average velocity-distribution curve O was obtained.

[0068] From this average velocity-distribution curve O , by integrating with an average velocity distribution within the fluid piping 11, it is accurate and the flow rate of the measured fluid 12 which flows the inside of the fluid piping 11 can be measured a contacted condition.

[0069] Drawing 5 is drawing showing the 2nd operation gestalt of the Doppler type ultrasonic flowmeter concerning this invention.

[0070] Doppler type ultrasonic flowmeter 10A shown in this operation gestalt changes the wall thickness of the fluid piping 11, and you may make it produce a resonance-transparency phenomenon as an approach of raising the S/N ratio of a reflected wave instead of selecting the optimum frequency of the ultrasonic pulse by which incidence is carried out into the fluid piping 11.

[0071] However, the means by which it is impossible to change the thickness of the fluid piping 11 in practice, and it is equivalent to changing the thickness of the fluid piping 11 is given by changing whenever [champing-angle / of the ultrasonic transducer 20].

[0072] The 2nd operation gestalt carries out an accommodation setup of the α with the incident angle accommodation setting means 40 whenever [incident angle / of the ultrasonic pulse oscillated from the ultrasonic transducer 20], and selects automatically whenever [incident angle / of the supersonic wave which suits the wall thickness of the fluid piping 11]. The same sign is given to the same member as the Doppler type ultrasonic flowmeter 10 shown in the 1st operation gestalt, and explanation is omitted.

[0073] Doppler type ultrasonic flowmeter 10A shown in drawing 5 is replaced with the frequency selection setting means 19, and establishes the incident angle accommodation setting means 40.

[0074] The ultrasonic transducer 20 by which the incident angle accommodation setting means 40 was able to prepare whenever [champing-angle] in the fluid piping 11 free

[accommodation] from the outside, Whenever [incident angle / of the ultrasonic pulse oscillated from this ultrasonic transducer 20] The incident angle translator 41 which can accommodation set up α , Within the limits of the incident angle field specified beforehand, for example, an incident angle field setting means 43 by which α operates the incident angle translator 41 possible [change] whenever [incident angle] within the limits of the include-angle field width of face which is five - 45 degrees, Receive the ultrasonic echo reflected from the measurement field in said fluid piping 11, and the reinforcement of an ultrasonic echo is extracted. It has a reflected wave on-the-strength extract means 44 to memorize, and the ultrasonic echo reinforcement extracted and memorized with the reflected wave on-the-strength extract means 44 is displayed with the display 18 equipped with the reflected wave display function on the strength.

[0075] The incident angle translator 41 is a device to which it was made to change α in about five - 45 degrees whenever [incident angle / of a supersonic wave], and by the output

signal outputted from this incident angle translator 41, an accommodation setup of said incident angle accommodation setting means 40 is automatically carried out so that whenever [champing-angle / of the ultrasonic transducer 20] may serve as an optimum value. Whenever [champing-angle / of the ultrasonic transducer 20] makes the champing-angle modification adjustment device of for example, stepping motor 46 grade drive with the output signal outputted from the incident angle translator 41, and is enabling an accommodation setup of the modification of whenever [champing-angle / of the ultrasonic transducer 20].

[0076] alpha is an include angle formed between the vertical line on the front face of tubing of the fluid piping 11, or a vertical plane whenever [incident angle / of the supersonic wave oscillated from the ultrasonic transducer 20]. Whenever [incident angle / of the ultrasonic pulse oscillated from the ultrasonic transducer 20], the optimal include angle is set up with the incident angle accommodation setting means 40 so that a resonance-transparency phenomenon may be produced to the wall thickness of the fluid piping 11.

[0077] The angle-of-incidence accommodation setting means 40 changes the incidence include angle of the ultrasonic pulse oscillated from the ultrasonic transducer 20 with the output signal from the incidence angular-transformation device 41 by include-angle within the limits of the angle of incidence of about five - about 45 degrees, extracts reflected wave reinforcement with the reflected wave on-the-strength extract means 44, and is made to memorize. While being displayed with a display 18, extract selection actuation of whenever [incident angle / of an ultrasonic pulse] is repeatedly performed by the incident angle accommodation setting means 40, whenever [optimal incident angle / of an ultrasonic pulse] is chosen automatically, and the reflected wave reinforcement memorized with the reflected wave on-the-strength extract means 44 is selected.

[0078] By carrying out an accommodation setup of the incidence include angle of the ultrasonic pulse oscillated from the ultrasonic transducer 20 by the angle-of-incidence accommodation setting means 40 at the optimal include angle, it becomes equivalent to that to which the wall thickness of the fluid piping 11 was changed physically, and the velocity distribution and flow rate of the measured fluid 12 which flows the inside of the fluid piping 11 can be correctly measured with a sufficient precision by the ultrasonic pulse oscillated from the ultrasonic transducer 20.

[0079] If whenever [incident angle / of the supersonic wave oscillated from the ultrasonic transducer 20] (penetration include angle) is changed, the travelling distance in the matter, i.e., the ultrasonic travelling distance in the fluid piping 11, will change. By doubling ultrasonic travelling distance with the integral multiple of the ultrasonic half-wave length, a resonance-transparency phenomenon can be produced to the wall thickness of the fluid piping 11, sufficient reflected wave S/N ratio can be secured, and the reinforcement of the ultrasonic echo which is a reflected wave can be secured. Therefore, the velocity distribution and flow rate of the measured fluid which flows the inside of the fluid piping 11 can be measured with a sufficient precision by non-contact.

[0080] In addition, although each operation gestalt of a Doppler type ultrasonic flowmeter showed the example equipped with the frequency-selective setting means 19 and the incident angle accommodation setting means 40, respectively, you may make it prepare for one set of a Doppler type ultrasonic flowmeter combining the frequency-selective setting means 19 and the incident angle accommodation setting means 40. If it has combining both the setting means 19 and 40, it will become easy to choose automatically whenever [optimum frequency and optimal incident angle], and to set it up with a Doppler type ultrasonic flowmeter.

[0081] Since the Doppler type ultrasonic flowmeters 10 and 10A shown in drawing 1 thru/or drawing 4 measure the flow rate of a measured fluid by the ultrasonic pulse and the line measuring method of the velocity distribution using the doppler shift of an ultrasonic echo, in order to raise the accuracy of measurement, they need to increase the number of the measurement lines ML, as a result the installation number of the ultrasonic transducer 23. The measurement line ML may do the include-angle alpha inclination of the ultrasonic transducer 20 of N individual to the perpendicular to a tube wall by setting and installing necessary spacing in the hoop direction of piping 11 in fact, and you may set so that all the measurement lines ML may pass along the axis of piping 11.

[0082] Then, supposing the flow of the measured fluid 12 which flows the inside of piping 11 can disregard radial, the flow v_r of an include angle θ , and v_{θ} by the flow of the direction of a tube axis, it is set to $v_x \gg v_r$ and $V_x \gg v_{\theta}$, and it is simplified and flow rate measurement is expressed with a degree type.

[0083]

[Equation 3]

$$m(t) = \sum_{i=1}^N \cdot \frac{2\pi}{N} \int_{-r}^r \{v_x(r \cdot \theta_i \cdot t) / \sin \alpha\} \cdot r \cdot dr \quad \dots\dots(3)$$

[0084] Thus, the flow rate of the called-for measured fluid 12 can be displayed by the time-dependent with a display 18 in an instant. The velocity distribution which meets the measurement line ML in the fluid piping 11 of the measured fluid 12, or the velocity distribution in the piping cross section can also be displayed on this display 18.

[0085] Drawing 8 shows the 3rd operation gestalt of the Doppler type ultrasonic flowmeter concerning this invention from drawing 6.

[0086] As shown in drawing 6, Doppler type ultrasonic flowmeter 10B shown in this operation gestalt computes the velocity component V_2 of a direction by the Doppler frequency whenever [ultrasonic incident angle / of the measured fluid 12 which flows the inside of the fluid piping 11] (penetration include angle), searches for the velocity distribution which meets the measurement line ML from this computed Doppler frequency by the line measuring method, and is computing the flow rate of the measured fluid 12.

[0087] In this Doppler type ultrasonic flowmeter 10B, the velocity vector V_1 in alignment with the shaft orientations of the fluid piping 11 is computed by computing the velocity vector V_2 which meets in the direction of an ultrasonic path (measurement line ML) from the Doppler frequency, and carrying out division process of the velocity vector V_2 by $\sin \alpha$.

[0088] In this Doppler type ultrasonic flowmeter 10B, if the flow which is parallel within the fluid piping 11 has arisen in the fluid piping 11 when the flow of the measured fluid 12 is not parallel to the fluid piping 11, the right rate of flow is uncomputable. For example, as shown in drawing 7, when the air bubbles which have a velocity vector V_3 exist, since this velocity vector V_3 shares the velocity vector V_2 of the same direction as the velocity vector V_1 of the measured fluid 12, it will compute the rate of the air bubbles of the measured fluid 12 accidentally with the shaft-orientations rate of the big fluid piping 11 seemingly.

[0089] In order to cancel this apparent rate calculation flow rate, Doppler type ultrasonic flowmeter 10B is equipped with two ultrasonic transducers 20 and 20a, and attaches them in the fluid piping 11. One ultrasonic transducer 20 is installed so that ultrasonic transducer 20a of another side may be intersected perpendicularly, and it asks for both velocity vectors V_2 and V_4 by both the supersonic-waves transducers 20 and 20a, respectively, and enables it to search for correctly the rate of flow of the measured fluid 12, and the rate of flow of air bubbles by computing the vector sum of these velocity vectors V_2 and V_4 .

[0090] This Doppler type ultrasonic flowmeter 10B is taken as the structure which can carry out movable [of the ultrasonic transducer 20a of another side] on the fluid piping 11 to one ultrasonic transducer 20, in order to measure the rate of flow of the measured fluid 12 correctly.

[0091] For this reason, Doppler type ultrasonic flowmeter 10B is equipped with the ultrasonic transducer migration device 46 in which transducer 20a of another side is made to move relatively to one ultrasonic transducer 20, and as shown in the signal-processing block diagram shown in drawing 8, it is constituted.

[0092] In Doppler type ultrasonic flowmeter 10B shown in drawing 8, it is arranged so that the direction of incidence of the ultrasonic pulse oscillated from both the supersonic-waves transducers 20 and 20a may intersect perpendicularly mutually within the fluid piping 11. That is, Doppler type ultrasonic flowmeter 10B is arranged so that the ultrasonic pulse oscillated from both the supersonic-waves transducers 20 and 20a may intersect perpendicularly in the measurement field in the fluid piping 11.

[0093] With the reflected wave receivers 27 and 27a with which said Doppler type ultrasonic

flowmeter 10B receives the ultrasonic echo which is a reflected wave, respectively from the measurement field in the fluid piping 11 of the ultrasonic pulse oscillated from both the supersonic-waves transducers 20 and 20a. Velocity vector calculation means 47 and 47a compute the velocity vector of the direction of an ultrasonic measurement line, respectively from the ultrasonic echo reinforcement received with each reflected wave receivers 27 and 27a. It has a rate-of-flow vector calculation means 48 to compute the rate-of-flow vector of a measured fluid from the vector sum of the velocity vector computed with each velocity vector calculation means 47 and 47a. The flow rate of the measured fluid 12 is computed from the velocity distribution of the direction ML of a measurement line in the fluid piping 11 computed with the rate-of-flow vector calculation means 48.

[0094] And the ultrasonic echo of the reflected wave reflected from the measurement field in the fluid piping 11 of the ultrasonic pulse oscillated from both the supersonic-waves transducers 20 and 20a is received by each reflected wave receivers 27 and 27a, respectively. The signal of the ultrasonic echo received with each reflected wave receivers 27 and 27a on the strength is changed into the velocity vector of the measurement line ML direction (the direction of a path) by the velocity vector calculation means 47 and 47a. The vector sum of the velocity vector of the acquired direction of a path is computed with the rate-of-flow vector calculation means 48, and the right velocity vector of the measured fluid 12 rate of flow is computed.

[0095] The above-mentioned velocity vector calculation means 47 and 47a and the rate-of-flow vector calculation means 48 constitute the velocity-distribution measurement circuit 30, or the velocity distribution of the measured fluid 12 of the measured fluid 12 which flows the inside of the fluid piping 11 is measured along the direction ML of a path (measurement line), and the flow rate of the measured fluid 12 can be calculated by carrying out the operation which integrates with this velocity distribution in the direction of a path of a supersonic wave.

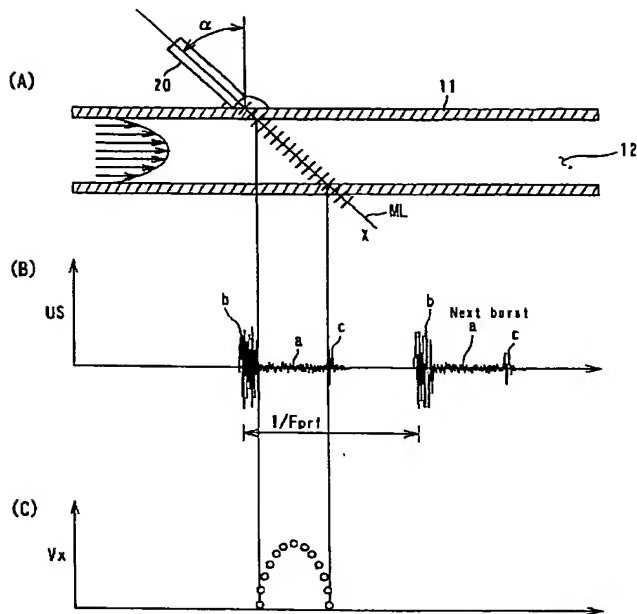
[0096] The data in the location of a degree are extracted by moving the fluid piping 11 top for the ultrasonic transducers 20 or 20a by the ultrasonic transducer migration device 46 after computing the rate of flow of the location which is the rate-of-flow vector calculation means 48 of the velocity-distribution measurement circuit 30. By carrying out migration actuation of the ultrasonic transducers 20 and 20a one after another by the ultrasonic transducer migration device 46, the whole can be asked for the velocity distribution of the measured fluid 12 covering the direction of a path of an ultrasonic pulse, and the flow rate can be correctly calculated by the operation.

[0097]

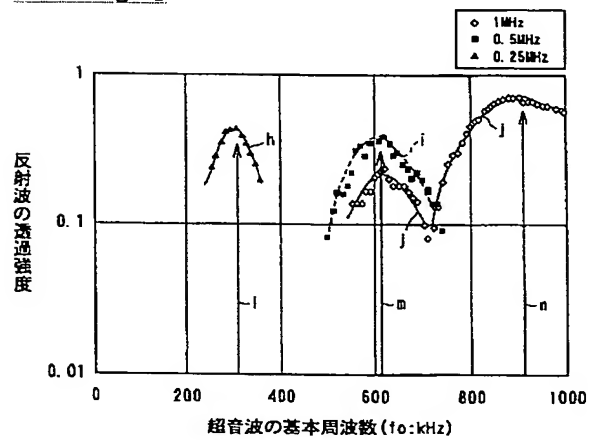
[Effect of the Invention] In the Doppler type ultrasonic flowmeter concerning this invention Establish the frequency-selective setting means which carries out a selection setup of the oscillation frequency of the ultrasonic pulse oscillated from the transducer of a supersonic wave automatically, or Moreover, since the incident angle accommodation setting means which carries out a selection setup of whenever [incident angle / of the ultrasonic pulse oscillated from an ultrasonic transducer] at the optimal include angle was established It can be automatically set as whenever [optimum frequency / of the supersonic wave which produces a resonance-transparency phenomenon to the wall thickness of fluid piping /, or optimal incident angle]. easy in the flow rate of the measured fluid which does not need to prepare the optimal ultrasonic transducer for every various fluid piping, has high versatility, and flows the inside of fluid piping - and it is correctly [easily and] measurable with a sufficient precision in the state of non-contact.

[0098] Moreover, with the Doppler type ultrasonic flowmeter concerning this invention, the flow rate of a measured fluid can be correctly measured with a sufficient precision using the doppler shift of a supersonic wave, and with an optical hydrometry means, even if it is the opaque or translucent fluid which cannot be measured, the fluid which a revolution style, a vortex, and the flow that is not parallel have produced within fluid piping can also be correctly measured with a sufficient precision.

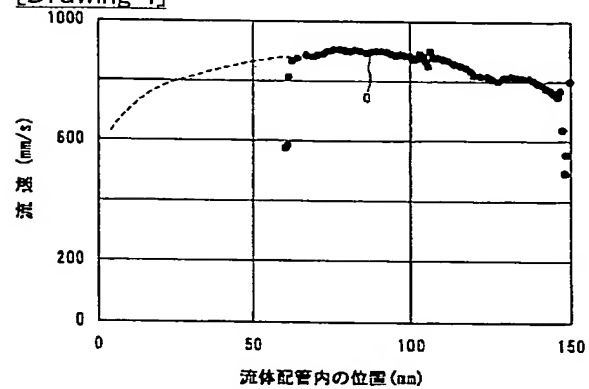
* NOTICES *



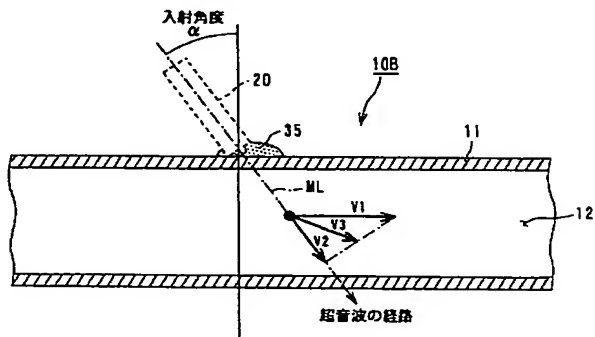
[Drawing 3]



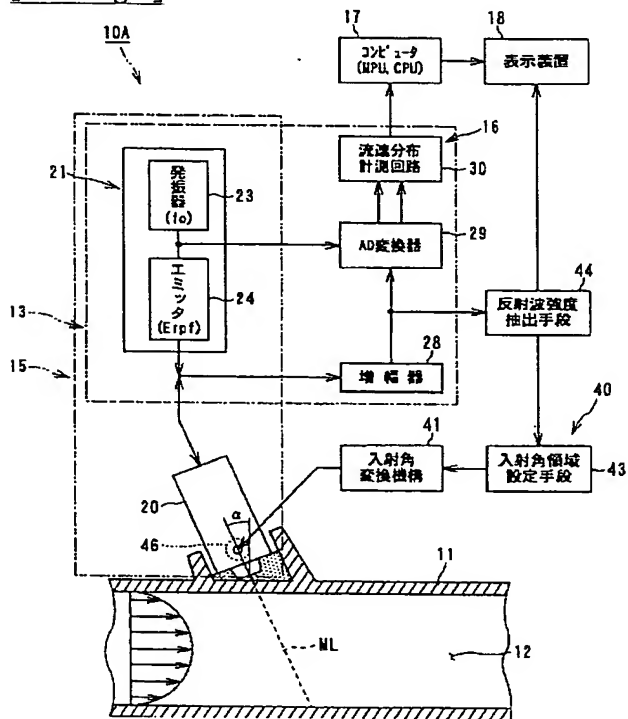
[Drawing 4]



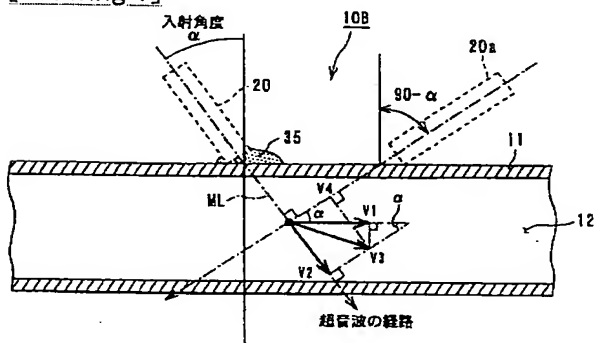
[Drawing 6]



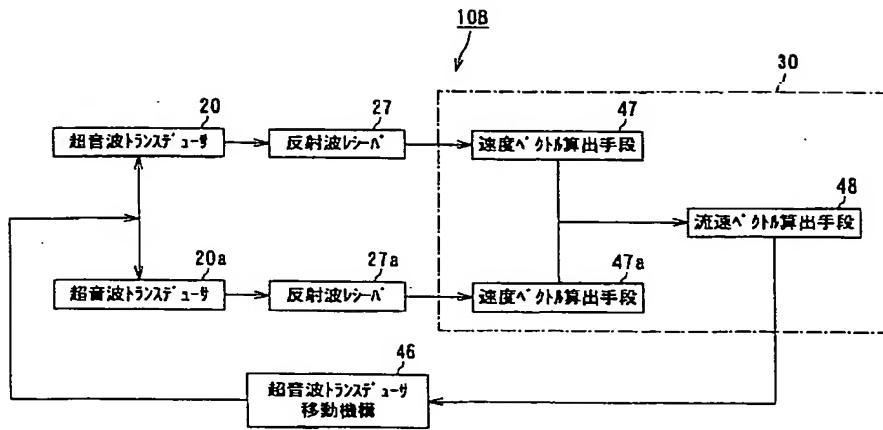
[Drawing 5]



[Drawing 7]



[Drawing 8]



[Translation done.]

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 超音波トランスジューサから超音波パルスを流体配管内を流れる被測定流体に入射させる超音波送信手段と、

被測定流体に入射された超音波パルスのうち、流体配管内の測定領域から反射された超音波エコーを受信し、上記測定領域における被測定流体の流速分布を測定する流速分布測定手段と、

上記被測定流体の流速分布に基づいて被測定流体の流量を算出する流体流量演算手段と、

前記流体配管の管壁に対し超音波トランスジューサから共鳴の透過現象を生じさせる超音波の基本周波数を自動的に選択する周波数選択設定手段とを有し、この周波数選択設定手段は、選択された最適周波数の超音波を超音波トランスジューサから発振させるように前記超音波送信手段を作動制御するようにしたことを特徴とするドップラ式超音波流量計。

【請求項 2】 前記発振周波数選択設定手段は、超音波トランスジューサから発振される超音波パルスの発振周波数を自動的に調節設定しており、

超音波半波長の整数倍が流体配管の壁厚となるように超音波パルスの発振周波数が選択された請求項 1 に記載のドップラ式超音波流量計。

【請求項 3】 前記発振周波数選択設定手段は、超音波トランスジューサから所要の発振周波数の超音波を発振させる発振用アンプと、

この発振用アンプの発振周波数を可変可能に調節設定する発振周波数可変装置と、

予め指定された周波数領域内で発振周波数可変装置を動作させる周波数領域設定手段と、

前記超音波トランスジューサから発振された超音波パルスのうち、流体配管内の測定領域から反射される超音波エコーを受信する超音波受信手段と、

受信された超音波エコーの強度を抽出し、記憶させる反射波強度抽出手段とを備え、

前記発振周波数選択設定手段は発振周波数の抽出選定操作が繰り返行なわれて超音波の最適周波数が自動的に選択するようにした請求項 1 または 2 に記載のドップラ式超音波流量計。

【請求項 4】 前記ドップラ式超音波流量計は、前記超音波トランスジューサから被測定流体体内に入射される超音波パルスの入射角度を調節設定する入射角調節設定手段をさらに備え、この入射角調節設定手段は、流体配管の管壁に対し超音波パルスが共鳴の透過現象を生じさせる入射角度となるように、超音波トランスジューサを流体配管に調節設定可能に設け、前記周波数選択設定手段と入射角調節設定手段とを組み合わせた請求項 1 に記載のドップラ式超音波流量計。

【請求項 5】 超音波トランスジューサから超音波パルスを流体配管内を流れる被測定流体に入射させる超音波

送信手段と、

被測定流体に入射された超音波パルスのうち、流体配管内の測定領域から反射された超音波エコーを受信し、上記測定領域における被測定流体の流速分布を測定する流体速度分布測定手段と、

上記被測定流体の流速分布に基づいて、被測定流体の流量を算出する流体流量演算手段と、

前記超音波トランスジューサから被測定流体体内に入射される超音波パルスの入射角度を調節設定する入射角調節設定手段とを備え、この入射角調節設定手段は、流体配管の管壁に対し超音波パルスが共鳴の透過現象を生じさせる入射角度となるように、超音波トランスジューサを流体配管に調節設定可能に設けたことを特徴とするドップラ式超音波流量計。

【請求項 6】 前記入射角調節手段は、流体配管に外側から設けられた超音波トランスジューサと、

この超音波トランスジューサから発振される超音波パルスの入射角度を調節設定可能な入射角変換機構と、

予め指定された入射角領域の範囲内で上記入射角変換機構を動作させる入射角領域設定手段と、

前記超音波トランスジューサから発振される超音波パルスのうち、流体配管内の測定領域から反射される超音波エコーを受信して超音波エコーの強度を抽出し、記憶する反射波強度抽出手段とを備え、

前記入射角調節設定手段は、超音波パルス入射角度の抽出選定操作が繰返し行なわれて最適な超音波パルス入射角度を自動的に選択するようにした請求項 5 に記載のドップラ式超音波流量計。

【請求項 7】 前記超音波トランスジューサは流体配管の外側に取付角度が調節自在に設けられ、上記超音波トランスジューサの取付角度を入射角変換機構により選択することにより、超音波トランスジューサから発振される超音波パルスの入射角度を調節設定した請求項 5 または 6 に記載のドップラ式超音波流量計。

【請求項 8】 流体配管に設けられた第 1 の超音波トランスジューサと、この超音波トランスジューサから流体配管の軸方向に離間して設けられた第 2 の超音波トランスジューサと、第 1 の超音波トランスジューサを第 2 の超音波トランスジューサに相対的に進退させる超音波トランスジューサ移動機構とを備え、前記両超音波トランスジューサは発振される超音波パルスが流体配管内の測定領域で直交するように配設されたことを特徴とするドップラ式超音波流量計。

【請求項 9】 前記ドップラ式超音波流量計は、前記第 1 および第 2 の超音波トランスジューサから発振された超音波パルスの流体配管内の測定領域から反射波である超音波エコーをそれぞれ受信する反射波レシーバと、各反射波レシーバで受信された超音波エコー強度から超音波測定線方向の速度ベクトルをそれぞれ算出する速度ベ

クトル算出手段と、各速度ベクトル算出手段で算出された速度ベクトルのベクトル和から被測定流体の流速ベクトルを算出する流速ベクトル算出手段とをさらに備え、流速ベクトル算出手段で算出される流体配管内の測定線方向の流速分布から被測定流体の流量を算出する請求項 8 記載のドップラ式超音波流量計。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、超音波のドップラシフトを利用して被測定流体の流量を測定するドップラ式超音波流量計に係り、特に超音波の最適周波数や最適入射角度を自動的に調整し、設定可能なドップラ式超音波流量計に関する。

【0002】

【従来の技術】流体配管内を流れる被測定流体の流速や流量を測定する流量計には、測定原理により 2 種類に大別される。

【0003】第 1 の流量計は、流体配管内を流れる流体のプロセス量が流れ方向に変化することを利用して流量を測定するものであり、この種の流量計には、オリフィス流量計がある。オリフィス流量計はオリフィス上流側と下流側とで流体の圧力が異なることを利用して流量を計測するものであり、このような流量計測方法を、以下「平均値近似法」という。

【0004】第 2 の流量計は、主に円管等の配管内の流れの流量測定に用いられるものである。

【0005】この流量計では、配管内の流れの一点、例えば管軸上の所定点での流速を測定し、得られた測定値に基づいて理論値から配管内の流速分布形状を仮定し、この流速分布形状を積分して流量を求めるものである。このような流量測定方法を、以下「近似積分法」という。

【0006】一方、流量計の中には、測定対象である被測定流体に超音波を照射して流体の流量を計測する超音波流量計が知られている。

【0007】この超音波流量計には、平均値近似法により流量を計測するものと、近似積分法により流量を計測するものに大別される。

【0008】平均値近似法を採用した超音波流量計は、超音波パルスが一定の間隔の 2 点間を通過するのに要する時間が、超音波パルスが流体の流れの上流に向けて進む場合と、その逆に流れの下流に向けて進む場合とで、流体の流れの速度だけ異なることを利用し、所定の 2 点間の平均速度を求め、流量を計測するものである。

【0009】また、近似積分法を採用した超音波流量計は、配管の中心軸上の一点での被測定流体の速度をドップラシフト法を利用して求め、この流体速度から流量を計測するものであり、特開平 6-294670 号公報に開示されたものがある。この近似積分法の超音波流量計では、理論値あるいは経験則から流速分布の形を求めて

積分を行なうものである。例えば、配管内の層流領域では流速分布は放物線で表われるから、管壁での境界条件を使用することにより、中心軸上で測定された流体速度を用いて流量を求めることができる。この理論解は、厳密には定常状態の流れに対して成立するものである。で、近似積分法の超音波流量計は、定常状態の流れにしか適用できず、非定常状態の流れには対応することができない。

【0010】一般に、粘性流体の流れは、ナビエ・ストークス (Navier-Stokes) の方程式 (以下、NS 方程式という。) として良く知られている。従来の超音波流量計は、NS 方程式の時間微分項を無視して定常状態に対する流動分布の知識を利用して流量を求めている。このため、流量が時間的に変動し、近似積分法が成立しない流動場 (流体の流れの場) が測定対象である場合には、測定精度が著しく低下したり、測定結果の有効性が損われる虞がある。

【0011】このような流動場として、例えば平均流量を出すに必要な時間より流量系の変動時間が短い流動場や、流れが十分に発達していない流動場が挙げられる。前者の場合には、NS 方程式の時間微分項がゼロにならず、後者の場合には、NS 方程式の一次元近似が成立しない。

【0012】従来の流量計では、定常状態における流量計測であり、十分な精度で流量測定を行なうためには、例えば測定箇所の上流側に流れを定常化させる助走路を非常に長くとる必要があり、配管施設に時間とコスト、労力を要する一方、定常状態の流れの流量計測であるため、非定常状態の流れの流量計測を行なうことが困難であった。

【0013】また、従来の流量計は、円管などの閉じた配管内を流れる流体の平均流量を測定対象とするため、より大きな流量体系の局所的な流量を測定することが不可能であった。例えば、非常に大きな攪拌槽の入口付近あるいは出口付近の時間変動を伴う特徴的な流量計測は、いずれの流量計においても測定不可能であった。

【0014】ところで、三次元空間の流量場における被測定流体の流れは、三次元のベクトル量で表わされるのに対して、従来の流量計は、配管内に一次元の流れを仮定して流量計測を行なうものである。このため、閉じた配管内であっても、流れが三次元的になっている場合には、流量の測定精度が非常に悪くなったり、不可能となる。例えば、エルボ配管や U 字状の反転配管のように曲げられた配管の直後では、流体の流れが遠心力作用により三次元的になっており、このような場所に従来の流量計を設置しても流量計測を正確に行なうことができない。

【0015】そこで、本発明者等は、超音波のドップラシフトを利用して被測定流体の流量を非定常状態の流れであっても、時間依存で正確に精度よく非接触で測定で

きるドップラ式超音波流量計を特願平 10-272359 号明細書で提案した。

【0016】このドップラ式超音波流量計は、流体配管内を流れる被測定流体の瞬時の流速分布から直接流量を算出する手法を適用したものであり、被測定流体の流量計測に高い精度や応答性を持つことを知見した。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】従来のドップラ式超音波流量計においても、流体配管内を流れる被測定流体の流量計測を簡易にかつ大きな汎用性をもって行なわれることが望まれる。

【0018】ドップラ式超音波流量計で種々の流体配管内を流れる被測定流体の流速をスムーズにかつ円滑に測定するためには、種々の管壁厚の流体配管に対しても超音波の透過効率を十分に確保し、充分な反射波 S/N 比を確保する必要がある。

【0019】従来のドップラ式超音波流量計では、超音波の金属壁の透過特性を金属壁の肉厚を変化させることで調べ、流体配管の肉厚が最適となるように設定してきた。

【0020】しかしながら、ドップラ式超音波流量計の実機への適用により、流体配管の肉厚を種々変化させることは不可能であり、流体配管の種類毎に最適な超音波透過特性を持つ超音波流量計を用意しなければならず、汎用性の低いものである。

【0021】本発明は、上述した事情を考慮してなされたもので、種々の流体配管内を流れる被測定流体の流量を簡単かつ容易に、しかも非接触で正確に精度よく測定できる汎用性の高いドップラ式超音波流量計を提供することを主な目的とする。

【0022】本発明の他の目的は、流体配管の種々の壁厚に対し共鳴的透過現象を生じさせる超音波の最適周波数あるいは超音波の最適入射角度を自動的に選定し、被測定流体の流量を超音波のドップラシフトを利用して正確に精度よく測定することができるドップラ式超音波流量計を提供するにある。

【0023】さらに本発明の他の目的は、光学的流量測定方法が適用できない不透明あるいは半透明の液体であっても、流量を精度よく正確に測定できるドップラ式超音波流量計を提供するにある。

【0024】本発明の別の目的は、流体配管内で旋回流や配管と平行でない流れが生じて、流体配管内を流れる被測定流体を正確に精度よく測定できるドップラ式超音波流量計を提供するにある。

【0025】

【課題を解決するための手段】本発明に係るドップラ式超音波流量計は、上述した課題を解決するために、請求項 1 に記載したように、超音波トランスジューサから超音波パルスを流体配管内を流れる被測定流体に入射させる超音波送信手段と、被測定流体に入射された超音波パ

ルスのうち、流体配管内の測定領域から反射された超音波エコーを受信し、上記測定領域における被測定流体の流速分布を測定する流速分布測定手段と、上記被測定流体の流速分布に基づいて被測定流体の流量を算出する流体流量演算手段と、前記流体配管の管壁に対し超音波トランスジューサから共鳴的透過現象を生じさせる超音波の基本周波数を自動的に選択する周波数選択設定手段とを有し、この周波数選択設定手段は、選択された最適周波数の超音波を超音波トランスジューサから発振させるように前記超音波送信手段を作動制御するものである。

【0026】また、上述した課題を解決するために、本発明に係るドップラ式超音波流量計は、請求項 2 に記載したように、前記発振周波数選択設定手段は、超音波トランスジューサから発振される超音波パルスの発振周波数を自動的に調節設定しており、超音波半波長の整数倍が流体配管の壁厚となるように超音波パルスの発振周波数が選択されたものであり、さらに、請求項 3 に記載したように、前記発振周波数選択設定手段は、超音波トランスジューサから所要の発振周波数の超音波を発振させる発振用アンプと、この発振用アンプの発振周波数を可変可能に調節設定する発振周波数可変装置と、予め指定された周波数領域内で発振周波数可変装置を動作させる周波数領域設定手段と、前記超音波トランスジューサから発振された超音波パルスのうち、流体配管内の測定領域から反射される超音波エコーを受信する超音波受信手段と、受信された超音波エコーの強度を抽出し、記憶させる反射波強度抽出手段とを備え、前記発振周波数選択設定手段は発振周波数の抽出選定操作が繰り返し行なわれて超音波の最適周波数が自動的に選択するものである。

【0027】さらに、上述した課題を解決するために、本発明に係るドップラ式超音波流量計は、請求項 4 に記載したように、前記ドップラ式超音波流量計は、前記超音波トランスジューサから被測定流体内に入射される超音波パルスの入射角度を調節設定する入射角調節設定手段をさらに備え、この入射角調節設定手段は、流体配管の管壁に対し超音波パルスが共鳴的透過現象を生じさせる入射角度となるように、超音波トランスジューサを流体配管に調節設定可能に設け、前記周波数選択設定手段と入射角調節設定手段とを組み合わせたものである。

【0028】一方、本発明に係るドップラ式超音波流量計は、上述した課題を解決するために、請求項 5 に記載したように、超音波トランスジューサから超音波パルスを流体配管内を流れる被測定流体に入射させる超音波送信手段と、被測定流体に入射された超音波パルスのうち、流体配管内の測定領域から反射された超音波エコーを受信し、上記測定領域における被測定流体の流速分布を測定する流体速度分布測定手段と、上記被測定流体の流速分布に基づいて、被測定流体の流量を算出する流体流量演算手段と、前記超音波トランスジューサから被測

定流体内に入射される超音波パルスの入射角度を調節設定する入射角調節設定手段とを備え、この入射角調節設定手段は、流体配管の管壁に対し超音波パルスが共鳴的透過現象を生じさせる入射角度となるように、超音波トランスジューサを流体配管に調節設定可能に設けたものである。

【0029】さらに、上述した課題を解決するために、本発明に係るドップラ式超音波流量計は、請求項6に記載したように、前記入射角調節手段は、流体配管に外側から設けられた超音波トランスジューサと、この超音波トランスジューサから発振される超音波パルスの入射角度を調節設定可能な入射角変換機構と、予め指定された入射角領域の範囲内で上記記入射角変換機構を動作させる入射角領域設定手段と、前記超音波トランスジューサから発振される超音波パルスのうち、流体配管内の測定領域から反射される超音波エコーを受信して超音波エコーの強度を抽出し、記憶する反射波強度抽出手段とを備え、前記入射角調節設定手段は、超音波パルス入射角度の抽出選定操作が繰返し行なわれて最適な超音波パルス入射角度を自動的に選択するものであり、さらに、請求項7に記載したように、前記超音波トランスジューサは流体配管の外側に取付角度が調節自在に設けられ、上記超音波トランスジューサの取付角度を入射角変換機構により選択することにより、超音波トランスジューサから発振される超音波パルスの入射角度を調節設定したものである。

【0030】他方、本発明に係るドップラ式超音波流量計は、上述した課題を解決するために、請求項8に記載したように、流体配管に設けられた第1の超音波トランスジューサと、この超音波トランスジューサから流体配管の軸方向に離間して設けられた第2の超音波トランスジューサと、第1の超音波トランスジューサを第2の超音波トランスジューサに相対的に進退させる超音波トランスジューサ移動機構とを備え、前記両超音波トランスジューサは発振される超音波パルスが流体配管内の測定領域で直交するように配設されたものである。

【0031】さらに、上述した課題を解決するために、本発明に係るドップラ式超音波流量計は、請求項9に記載したように、前記ドップラ式超音波流量計は、前記第1および第2の超音波トランスジューサから発振された超音波パルスの流体配管内の測定領域から反射波である超音波エコーをそれぞれ受信する反射波レシーバと、各反射波レシーバで受信された超音波エコー強度から超音波測定線方向の速度ベクトルをそれぞれ算出する速度ベクトル算出手段と、各速度ベクトル算出手段で算出された速度ベクトルのベクトル和から被測定流体の流速ベクトルを算出する流速ベクトル算出手段とをさらに備え、流速ベクトル算出手段で算出される流体配管内の測定線方向の流速分布から被測定流体の流量を算出するものである。

【0032】

【発明の実施の形態】本発明に係るドップラ式超音波流量計の実施の形態について添付図面を参照して説明する。

【0033】図1は本発明に係るドップラ式超音波流量計の第1実施形態を示す図である。ドップラ式超音波流量計10は流体配管11内を流れる液体や気体等の被測定流体12の流速分布を測定し、流量を時間依存で瞬時に測定するものである。

【0034】ドップラ式超音波流量計10は、流体配管11内を流れる被測定流体12の流速を非接触で測定する超音波速度分布計測ユニット（以下、UVPユニットという。）13を備える。UVPユニット13は被測定流体12に測定線MLに沿って所要周波数（基本周波数 f_0 ）の超音波パルスを送信させる超音波送信手段15と、被測定流体12に入射された超音波パルスの測定領域からの反射波である超音波エコーを受信し、測定領域における被測定流体12の流速分布を測定する流体速度分布測定手段16と、被測定流体12の流速分布に基づいて演算処理して半径方向の積分を行ない、被測定流体12の流量を時間依存で求める流体流量演算手段としてのマイコン、CPU、MPU等のコンピュータ17と、このコンピュータ17からの出力を時系列的に表示可能な表示装置18と、流体配管11を流れる被測定流体12の最適周波数の超音波を自動的に選定する周波数選択設定手段19とを有する。

【0035】超音波送信手段15は、所要周波数の超音波パルスを発振させる超音波トランスジューサ20と、この超音波トランスジューサ20を発振させる信号発生器としての発振用アンプ21とを有する。発振用アンプ21は所要の基本周波数 f_0 の電気信号を発生させる発振器（オシレータ）23と、この発振器23からの電気信号を所定の時間間隔（ $1/F_{r,f}$ ）毎にパルス状に出力するエミッタ24（周波数 $F_{r,f}$ ）とを備え、この信号発生器である発振用アンプ21から所要の基本周波数 f_0 のパルス電気信号が超音波トランスジューサ20に入力される。

【0036】超音波トランスジューサ20はパルス電気信号の印加により基本周波数 f_0 の超音波パルスが測定線MLに沿って発信せしめられる。超音波パルスは例えばパルス幅5mm程度で拡がりをはほとんど持たない直進性のビームである。

【0037】超音波トランスジューサ20は送受信器を兼ねており、超音波トランスジューサ20は発信された超音波パルスが流体中の反射体に当たって反射される超音波エコーを受信するようになっている。反射体は被測定流体12中に一様に含まれる気泡であったり、金属の微粉末等のパーティクルであったり、または被測定流体12とは音響インピーダンスが異なる異物である。

【0038】超音波トランスジューサ20に受信された

超音波エコーは、反射波レシーバ 27 で受信され、この反射波レシーバ 27 でエコー電気信号に変換される。このエコー電気信号は増幅器 28 で増幅された後、A/D変換器 29 を通ってデジタル処理され、このデジタルエコー信号が流体速度分布測定手段を構成する流速分布計測回路 30 に入力される。流速分布計測回路 30 には、発振用アンプ 21 からの基本周波数 f の電気信号がデジタル化されて入力され、両信号の周波数差からドップラシフトに基づく流速の変化を計測し、測定線 ML に沿う測定領域の流速分布を算出している。測定領域の流速分布を傾斜角 α で較正することで流体配管 11 の横断面における流速分布を計測することができる。

【0039】一方、超音波トランスジューサ 20 から発振される超音波パルスの基本周波数 f は、流体配管 11 の壁厚に対し、共鳴的透過現象を生じさせるように周波数選択設定手段 19 にて最適値が選択される。超音波の金属壁透過特性は、流体配管 11 の壁厚が超音波の基本周波数 f の $1/2$ あるいはその整数倍のとき、非常に高いことを知見した。

【0040】この知見に基づき、このドップラ式超音波流量計 10 には、流体配管 11 の管壁の肉厚を変化させることなく、各種の流体配管 11 に対し、共鳴的透過現象を生じさせる所要の基本周波数 f を自由にかつ自動的に選択できる周波数選択設定手段 19 が組み込まれている。

【0041】この周波数選択設定手段 19 は、超音波トランスジューサから所要の発振周波数（基本周波数 f ）の超音波を発振させる発振用アンプ 21 と、この発振用アンプ 21 の発振周波数を可変可能に調節設定する発振周波数可変装置 31 と、この発振周波数可変装置 31 に予め指定された範囲内、例えば 200 kHz ~ 4 MHz の周波数領域内で発振周波数可変装置 31 を動作させる基本周波数領域設定手段 32 と、前記流体配管 11 内の測定領域から反射される超音波エコーを受信する超音波受信手段としての反射波レシーバ 27 と、受信された超音波エコー信号を増幅器 28 で増幅した後、超音波エコー信号の強度を抽出し、記憶させるメモリを備えた反射波強度抽出手段 33 と、この反射波強度抽出手段 33 で抽出され、記憶された反射強度（超音波エコー強度）が表示される反射波強度表示機能を備えた表示装置 18 とを有する。

【0042】しかして、周波数選択設定手段 19 は、発振用アンプ 21 により超音波トランスジューサ 20 を加振させ、超音波パルスを発振させるが、発振用アンプ 21 の発振周波数 f は、発振周波数可変装置 31 の出力信号に基づき決定される。発振周波数可変装置 31 は基本周波数領域設定手段 32 で予め定められた周波数領域内で、発振用アンプ 21 の発振周波数を可変自在に設定している。

【0043】周波数選択設定手段 19 は、反射波強度抽

出手段 33 および発振周波数可変装置 31 等の協働作用により、超音波の発振周波数の抽出選択操作が繰り返行なわれ、流体配管 11 の壁厚に対し共鳴的透過現象を生じさせる超音波の最適周波数が自動的に選択され、設定される。

【0044】超音波の最適周波数が選択され、設定されると、発振周波数可変装置 31 からの出力信号により、発振用アンプ 21 の発振周波数が決定され、この発振用アンプ 21 により超音波トランスジューサ 20 を加振させて、超音波トランスジューサ 20 から最適周波数である所要の基本周波数 f の超音波パルスが流体配管 11 内に発信される。

【0045】超音波トランスジューサ 20 から最適周波数の超音波パルスが発信されるので、十分な反射波 S/N 比を確保することができ、反射波である超音波エコーの信号を大きくとることができる。超音波エコー信号を大きくとるためには、流体配管 11 の壁厚（測定線 ML 方向の壁厚）に対し共鳴的透過現象を生じさせる超音波の基本周波数 f を選択することが重要である。

【0046】流体配管 11 の壁厚が超音波半波長の整数倍になると、共鳴効果により、流体配管 11 の界面における超音波透過率が著しく増加し、超音波透過率の増大の結果、被測定流体 12 の反射体からの反射波である超音波エコー信号が増大する。

【0047】したがって、周波数選択設定手段 19 により、超音波トランスジューサ 20 から発振される超音波パルスの発振周波数が、流体配管 11 の壁厚に対し最適な基本周波数 f が選択されると、超音波経路（測定線 ML 方向の走行路）中での減衰が小さくなり、また、流体配管 11 の界面での超音波透過率が増加するので、充分な反射波強度を得ることができる。

【0048】なお、図 1 において、符号 35 は超音波トランスジューサ 20 から発振される超音波を流体配管 11 内にスムーズに発振させ得るようにした接触媒体である。接触媒体 35 は超音波トランスジューサ 20 から発振されて流体配管 11 内に入射される音響インピーダンスを小さくして音響スイッチングを良好にするために設けられる。

【0049】また、第 1 実施形態では、超音波パルスの反射波である超音波エコーを反射波レシーバ 27 で受けるようにしたが、必ずしも反射波レシーバ 27 を単独で設ける必要がなく、反射波レシーバは超音波トランスジューサ 20 の受信機能に内蔵させてもよい。

【0050】次に、図 2 を参照してドップラ式超音波流量計 10 の作動原理を説明する。

【0051】図 2 (A) に示すように、超音波トランスジューサ 20 を流体配管 11 の放射方向に対し角度 α だけ被測定流体の流れ方向に傾けて設置した状態で、超音波トランスジューサ 20 から所要の基本周波数 f の超音波パルスを入射させると、この超音波パルスは測定線

10

20

30

40

50

ML上の被測定流体12に様に分布する気泡や異物等の反射体に当って反射し、図2(B)に示すように、反射波である超音波エコーaとなって超音波トランスジューサ20に戻される。なお、図2(B)において符号bは超音波パルス入射側の管壁で反射する多重反射エコーであり、符号cは、反対側管壁で反射する多重反射エコーである。超音波トランスジューサ20から発信される超音波パルスの発信間隔は $1/F_{r,0}$ である。

【0052】そして、超音波トランスジューサ20で発信したエコー信号をフィルタリング処理し、ドップラシフト法を利用して測定線MLに沿って流速分布を計測すると、図2(C)のように表示される。この流速分布はUVPユニット13の流体速度分布測定手段16で測定することができる。

【0053】ドップラシフト法は、流体配管11内を流れる被測定流体12中に超音波パルスを放射すると、被測定流体12中に混在あるいは一様分布の反射体によって反射され、超音波エコーとなり、この超音波エコーの周波数が流速に比例した大きさだけ周波数シフトする原*

$$m(t) = \rho \iint v_x(r, \theta, t) \cdot r \cdot dr \cdot d\theta \quad \dots\dots(2)$$

但し、 $v_x(r, \theta, t)$: 時間tにおける配管横断面上の中心から距離r、
角度θの管軸方向の速度成分

【0058】(2)式より、ドップラ式超音波流量計10は、被測定流体12の流れの空間分布を瞬時、例えば50msec~100msec程度の応答速度で得ることができる。被測定流体12は流体配管(円管)11内の流れであっても、充分な助走区間をとれない場合や、弁の開閉やポンプの起動・停止などで時間的な揺らぎが存在する場合には、流体の流れは非定常状態で三次元分布をもっているが、このドップラ式超音波流量計10は、測定領域の流速分布を時間依存で瞬時に求めることができるので、被測定流体12の流量を定常状態、非定常状態如何を問わず、正確に精度よく求めることができる。

【0059】また、本発明に係るドップラ式超音波流量計10を用いて超音波トランスジューサ20から発振される超音波の透過特性の確認試験を行なった。

【0060】図3は超音波の壁面透過特性を示す試験結果である。

【0061】この試験に用いたドップラ式超音波流量計10は周波数選択設定手段19により超音波トランスジューサ20から発振される超音波の基本周波数を200kHzから数MHz、例えば2MHzまで5kHz刻みで自動的に調節設定できるようにしたものをを用いた。

【0062】超音波の壁面透過試験は、250mmφの亚克力配管の一部にステンレス鋼を埋め込み、このステンレス鋼壁の外部に超音波トランスジューサ20を設置して超音波を入射し、亚克力配管対向側壁面からの

*理を応用したものである。

【0054】また、超音波流体速度分布測定手段16で測定された被測定流体12の流速分布信号は流体流量演算手段としてのコンピュータ17に送られ、ここで流速分布信号を流体配管11の半径方向に積分し、被測定流体12の流量を時間依存で求めることができる。この被測定流体12の時間tにおける流量を $m(t)$ とすると、次式で表わすことができる。

【0055】

【数1】

$$m(t) = \rho \int v(x, t) \cdot dA \quad \dots\dots(1)$$

但し、 ρ : 被測定流量の密度

$v(x, t)$: 時間tにおける速度成分(x方向)

【0056】(1)式から流体配管11を流れる時間tの流量 $m(t)$ は、次式に書き換えることができる。

【0057】

【数2】

超音波の反射強度を基本周波数を変化させて調べたものである。基本周波数を5kHz刻みで変化させたときの反射波の透過強度曲線h, i, jを示す。

【0063】超音波の壁面透過試験では、ステンレス鋼の壁厚が9.5mm, 11.5mm, 13mmの3種類を用意した。図3は、壁厚9.5mmのステンレス鋼による超音波の壁面透過試験例を示す。横軸が超音波の基本周波数fであり、縦軸は対向壁からの超音波の反射強度である。使用した3種類の超音波トランスジューサの特性周波数は、0.25MHz, 0.5MHzおよび1MHzであり、その透過強度曲線は、符号h, i, jでそれぞれ表わされる。

【0064】一方、図3において、矢印l, m, nは、超音波の発振周波数波長とステンレス鋼の壁厚の関係を示すもので、超音波波長の低い方からステンレス鋼の壁厚の1/2倍, 1倍および3/2倍の周波数位置を示す。

【0065】図3から、例えば1MHzの超音波トランスジューサを使用する場合、ステンレス鋼配管の壁厚に合わせ、約910kHzに基本周波数を設定して流量計測を行なうと、超音波の透過特性が良好であることがわかる。周波数の透過強度曲線jは、矢印nの位置で反射波の透過強度が高いことがわかる。

【0066】次に、図3に示された超音波の透過特性に基づき、壁厚9.5mmの炭素鋼(内径150mm)の流体配管を用意し、超音波トランスジューサ20の特性

周波数1MHzのものを使用し、超音波トランスジューサ20から発振される基本周波数 f_0 を910kHzに周波数選択設定手段19により選択設定し、被測定流体の流速分布を測定した。

【0067】この測定試験で得られた被測定流体の時間平均流速分布結果を図4に示す。被測定流体の流速分布の計測点は、60mm～150mmにおいて行なった。炭素鋼の流体配管の管中心部より手前側(0mm～60mmの範囲)では、壁内部における超音波の反射のために、十分な流速分布を得るのが困難であったが、管中心部より先方側の測定領域では、被測定流体12の流速分布に壁面の影響が表われず、比較的スムーズな平均流速分布曲線Oが得られた。

【0068】この平均流速分布曲線Oから、平均流速分布を流体配管11内で積分することにより、流体配管11内を流れる被測定流体12の流量を精度よく、被接触状態で測定することができる。

【0069】図5は本発明に係るドップラ式超音波流量計の第2実施形態を示す図である。

【0070】この実施形態に示されたドップラ式超音波流量計10Aは流体配管11内に入射される超音波パルスの最適周波数を選定する代りに、反射波のS/N比を向上させる方法として、流体配管11の壁厚を変化させて共鳴の透過現象を生じさせるようにしてもよい。

【0071】しかし、流体配管11の肉厚を変化させることは実際的には不可能であり、流体配管11の肉厚を変化させるのと等価な手段を、超音波トランスジューサ20の取付角度を変化させることにより、持たせたものである。

【0072】第2実施形態は、超音波トランスジューサ20から発振される超音波パルスの入射角度 α を入射角調節設定手段40で調節設定し、流体配管11の壁厚に適合する超音波の入射角度を自動的に選定したものである。第1実施形態に示されたドップラ式超音波流量計10と同じ部材には同一符号を付して説明を省略する。

【0073】図5に示されたドップラ式超音波流量計10Aは、周波数選定設定手段19に代えて入射角調節設定手段40を設けたものである。

【0074】入射角調節設定手段40は、流体配管11に外側から取付角度を調節自在に設けられた超音波トランスジューサ20と、この超音波トランスジューサ20から発振される超音波パルスの入射角度 α を調節設定可能な入射角変換機構41と、予め指定された入射角領域の範囲内に、例えば入射角度 α が5度～45度の角度領域幅の範囲内で変化可能に入射角変換機構41を動作させる入射角領域設定手段43と、前記流体配管11内の測定領域から反射される超音波エコーを受信して超音波エコーの強度を抽出し、記憶する反射波強度抽出手段44とを備え、反射波強度抽出手段44で抽出され、記憶された超音波エコー強度は、反射波強度表示機能を備え

た表示装置18で表示されるようになっている。

【0075】前記入射角調節設定手段40は、入射角変換機構41が超音波の入射角度 α を約5度～45度の範囲で変化させるようにした機構であり、この入射角変換機構41から出力される出力信号により、超音波トランスジューサ20の取付角度が最適値となるように自動的に調節設定される。超音波トランスジューサ20の取付角度は、入射角変換機構41から出力される出力信号により例えばステッピングモータ46等の取付角変更調整機構を駆動させて、超音波トランスジューサ20の取付角度を変更自在に調節設定している。

【0076】超音波トランスジューサ20から発振される超音波の入射角度 α は、流体配管11の管表面の垂直線あるいは垂直面との間に形成される角度である。超音波トランスジューサ20から発振される超音波パルスの入射角度は、流体配管11の壁厚に対し共鳴の透過現象を生じさせるように、最適な角度が入射角調節設定手段40で設定される。

【0077】入射角調節設定手段40は、超音波トランスジューサ20から発振される超音波パルスの入射角度を入射角変換機構41からの出力信号により約5度～45度程の入射角の角度範囲内で変化させて反射波強度抽出手段44により反射波強度を抽出し、記憶させる。反射波強度抽出手段44で記憶された反射波強度は、表示装置18により表示される一方、超音波パルスの入射角度の抽出選択操作が入射角調節設定手段40で繰り返行なわれて超音波パルスの最適な入射角度が自動的に選択され、選定される。

【0078】入射角調節設定手段40により超音波トランスジューサ20から発振される超音波パルスの入射角度を最適角度に調節設定することにより、流体配管11の壁厚を物理的に変化させたものと等価となり、超音波トランスジューサ20から発振される超音波パルスにより、流体配管11内を流れる被測定流体12の流速分布および流量を正確に精度よく測定できる。

【0079】超音波トランスジューサ20から発振される超音波の入射角度(進入角度)を変化させると、物質内の伝搬距離、すなわち、流体配管11内の超音波伝搬距離が変化する。超音波伝搬距離を超音波半波長の整数倍に合わせることで、流体配管11の壁厚に対し共鳴の透過現象を生じさせ、十分な反射波S/N比を確保することができる。したがって、流体配管11内を流れる被測定流体の流速分布や流量を非接触で精度よく測定できる。

【0080】なお、ドップラ式超音波流量計の各実施形態では、周波数選択設定手段19と入射角調節設定手段40とをそれぞれ備えた例を示したが、1台のドップラ式超音波流量計に周波数選択設定手段19と入射角調節設定手段40を組み合わせて備えるようにしてもよい。両

設定手段19と40を組み合わせると、ドップラ式超音波流量計で最適周波数および最適入射角度を自動的に選択し、設定することが容易となる。

【0081】図1ないし図4に示されたドップラ式超音波流量計10、10Aは、超音波パルスと超音波エコーのドップラシフトを利用した流速分布の線測定法で被測定流体の流量を測定するものであるから、測定精度を向上させるためには、測定線MLの数、ひいては超音波トランスジューサ23の設置台数を増やす必要がある。実際にはN個の超音波トランスジューサ20を配管11の周方向に所要の間隔をおいて設置し、測定線MLは管壁への垂線に対し角度 α 傾斜させ、全ての測定線MLが配管11の軸線を通るようにセットしてもよい。

【0082】そこで、配管11内を流れる被測定流体12の流れが、管軸方向の流れで半径方向や角度 θ の流れ v_r 、 v_θ を無視できるとすると、 $v_x \gg v_r$ 、 $v_x \gg v_\theta$ となり、流量計測は簡素化され、次式で表われる。

【0083】

【数3】

$$m(t) = \sum_{i=1}^N \frac{2\pi}{N} \int_0^R \{v_x(r, \theta, t) / \sin \alpha\} \cdot r \cdot dr \quad \dots\dots(3)$$

【0084】このように、求められた被測定流体12の流量は、表示装置18により時間依存で瞬時に表示することができる。この表示装置18には、被測定流体12の流体配管11内の測定線MLに沿う流速分布あるいは配管横断面における流速分布を表示することもできる。

【0085】図6から図8は本発明に係るドップラ式超音波流量計の第3実施形態を示すものである。

【0086】この実施形態に示されたドップラ式超音波流量計10Bは、図6に示すように、流体配管11内を流れる被測定流体12の超音波入射角度（進入角度）方向の速度成分 V_z をドップラ周波数により算出し、この算出されたドップラ周波数から測定線MLに沿う流速分布を線測定法で求め、被測定流体12の流量を算出している。

【0087】このドップラ式超音波流量計10Bでは、超音波経路方向（測定線ML）に沿う速度ベクトル V_z を、ドップラ周波数から算出し、速度ベクトル V_z を $\sin \alpha$ で割り算することにより、流体配管11の軸方向に沿う速度ベクトル V_x を算出している。

【0088】このドップラ式超音波流量計10Bでは、被測定流体12の流れが流体配管11に平行でない場合、流体配管11内に旋回流や流れが流体配管11内で平行でない流れが生じていると、正しい流速を算出することができない。例えば、図7に示すように、速度ベクトル V_z を有する気泡が存在する場合、この速度ベクトル V_z は被測定流体12の速度ベクトル V_x と同じ方向の速度ベクトル V_z を共有するため、見掛け上、被測定流体12の気泡の速度は大きな流体配管11の軸方向速

度と誤って算出してしまう。

【0089】この見掛け上の速度算出流量を解消するために、ドップラ式超音波流量計10Bは、2つの超音波トランスジューサ20、20aを備え、流体配管11に取り付ける。一方の超音波トランスジューサ20は他方の超音波トランスジューサ20aを直交するように設置し、両超音波トランスジューサ20と20aで双方の速度ベクトル V_z 、 V_θ をそれぞれ求め、この速度ベクトル V_z 、 V_θ のベクトル和を算出することにより被測定流体12の流速や気泡の流速を正しく求め得るようにしたものである。

【0090】このドップラ式超音波流量計10Bは、被測定流体12の流速を正しく測定するために、一方の超音波トランスジューサ20に対し他方の超音波トランスジューサ20aを流体配管11上で可動できる構造とする。

【0091】このため、ドップラ式超音波流量計10Bは、他方のトランスジューサ20aを一方の超音波トランスジューサ20に対し相対的に進退させる超音波トランスジューサ移動機構46を備え、図8に示す信号処理ブロック図のように構成される。

【0092】図8に示されたドップラ式超音波流量計10Bでは、両超音波トランスジューサ20、20aから発振される超音波パルスの入射方向が流体配管11内で互いに直交するように配置される。すなわち、ドップラ式超音波流量計10Bは、両超音波トランスジューサ20、20aから発振される超音波パルスが流体配管11内の測定領域で直交するように配設される。

【0093】前記ドップラ式超音波流量計10Bは、両超音波トランスジューサ20、20aから発振された超音波パルスの流体配管11内の測定領域から反射波である超音波エコーをそれぞれ受信する反射波レシーバ27、27aと、各反射波レシーバ27、27aで受信された超音波エコー強度から超音波測定線方向の速度ベクトルをそれぞれ算出する速度ベクトル算出手段47、47aと、各速度ベクトル算出手段47、47aで算出された速度ベクトルのベクトル和から被測定流体の流速ベクトルを算出する流速ベクトル算出手段48とを備え、流速ベクトル算出手段48で算出される流体配管11内の測定線方向MLの流速分布から被測定流体12の流量を算出するようにしたものである。

【0094】そして、両超音波トランスジューサ20、20aから発振された超音波パルスの流体配管11内の測定領域から反射される反射波の超音波エコーは各反射波レシーバ27、27aでそれぞれ受信される。各反射波レシーバ27、27aで受信された超音波エコーの強度信号は、速度ベクトル算出手段47、47aにより測定線ML方向（経路方向）の速度ベクトルに変換される。得られた経路方向の速度ベクトルのベクトル和を流速ベクトル算出手段48により算出し、被測定流体12

流速の正しい速度ベクトルを算出する。

【0095】上記速度ベクトル算出手段47、47aおよび流速ベクトル算出手段48により流速分布計測回路30を構成したり、流体配管11内を流れる被測定流体12の流速分布が経路方向（測定線）MLに沿って測定され、この流速分布を超音波の経路方向に積分する演算をすることにより被測定流体12の流量を求めることができる。

【0096】流速分布計測回路30の流速ベクトル算出手段48である位置の流速を算出後、超音波トランスジューサ20または20aを超音波トランスジューサ移動機構46で流体配管11上を移動させることにより、次の位置におけるデータを採取する。超音波トランスジューサ移動機構46で超音波トランスジューサ20、20aを次々に移動操作させることにより、超音波パルスの経路方向に全体に亘って被測定流体12の流速分布を求め、その流量を演算により正確に求めることができる。

【0097】

【発明の効果】本発明に係るドップラ式超音波流量計においては、超音波のトランスジューサから発振される超音波パルスの発振周波数を自動的に選択設定する周波数選択設定手段を設けたり、また、超音波トランスジューサから発振される超音波パルスの入射角度を最適角度に選択設定する入射角調節設定手段を設けたので、流体配管の壁厚に対し共鳴的透過現象を生じさせる超音波の最適周波数や最適入射角度に自動的に設定でき、各種流体配管毎に最適な超音波トランスジューサを設ける必要がなく、高い汎用性を有し、流体配管内を流れる被測定流体の流量を簡単かつ容易に、しかも正確に精度よく非接触状態で計測することができる。

【0098】また、本発明に係るドップラ式超音波流量計では、超音波のドップラシフトを利用して被測定流体の流量を正確に精度よく測定することができ、光学的流量測定手段では測定できない不透明あるいは半透明の流体であっても、また、流体配管内で旋回流や渦流、平行でない流れが生じている流体でも正確に精度よく測定できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るドップラ式超音波流量計の第1実施形態を示す図。

【図2】本発明に係るドップラ式超音波流量計による流

量測定における動作原理を説明する図。

【図3】超音波の金属壁面透過特性を示す図。

【図4】流体配管内を流れる被測定流体の平均流速分布を示す図。

【図5】本発明に係るドップラ式超音波流量計の第2実施形態を示す図。

【図6】本発明に係るドップラ式超音波流量計の第3実施形態を説明するために用いた、超音波入射角度方向の速度成分をドップラ周波数により算出したイメージ図。

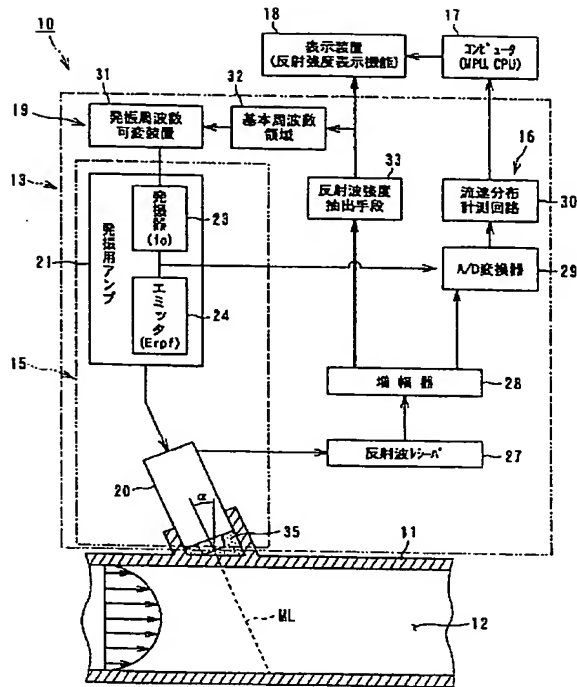
【図7】本発明に係るドップラ式超音波流量計の第3実施形態を示す原理図。

【図8】本発明に係るドップラ式超音波流量計の第3実施形態を示す信号処理ブロック図。

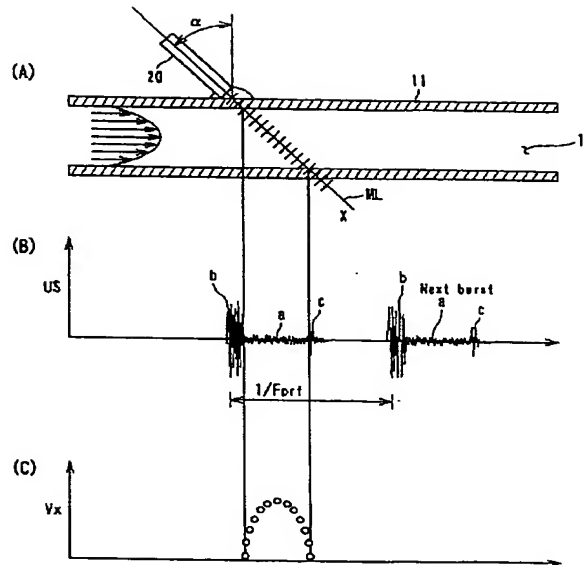
【符号の説明】

- 10、10A、10B ドップラ式超音波流量計
- 11 流体配管
- 12 被測定流体
- 13 超音波速度分布計測ユニット（UVPユニット）
- 15 超音波送信手段
- 16 流体速度分布測定手段
- 17 コンピュータ（流体流量演算手段）
- 18 表示装置
- 19 周波数選択設定手段
- 20 超音波トランスジューサ
- 21 発振用アンプ（信号発生器）
- 23 発振器（オシレータ）
- 24 エミッタ
- 27 反射波レシーバ（超音波受信手段）
- 28 増幅器
- 29 A/D変換器
- 30 流速分布計測回路
- 31 発振周波数可変装置
- 32 基本周波数領域設定手段
- 33 反射波強度抽出手段
- 35 接触媒体
- 40 入射角調節設定手段
- 41 入射角度変換機構
- 43 入射角度領域設定手段
- 44 反射波強度抽出手段
- 46 超音波トランスジューサ移動機構

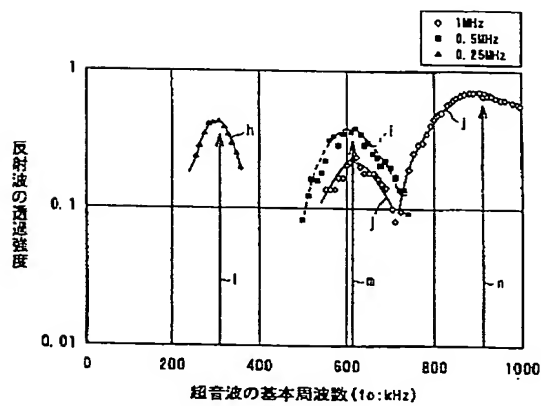
【図1】



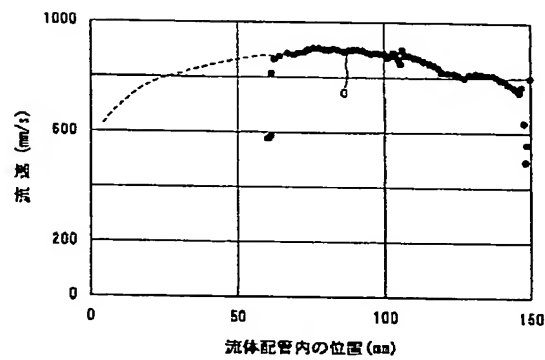
【図2】



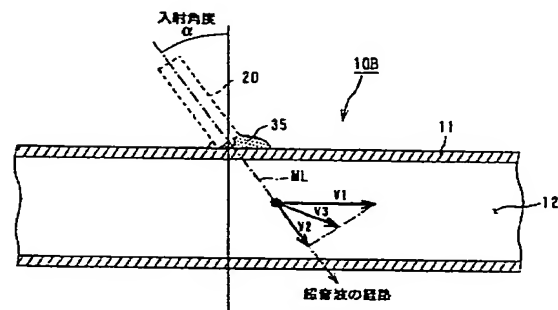
【図3】



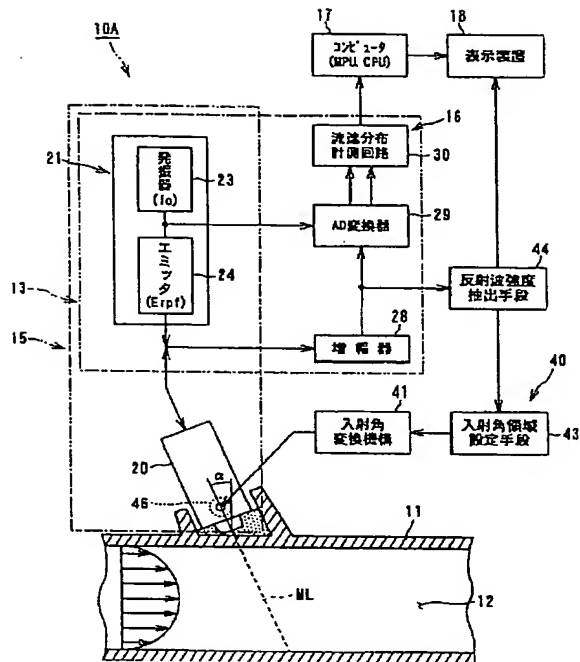
【図4】



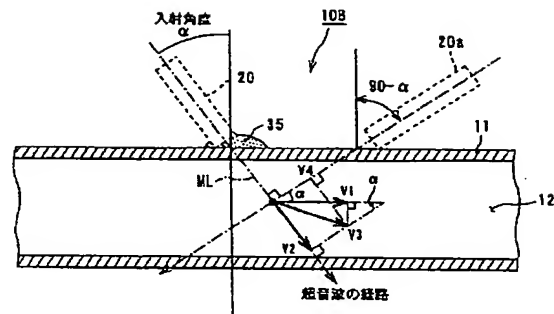
【図6】



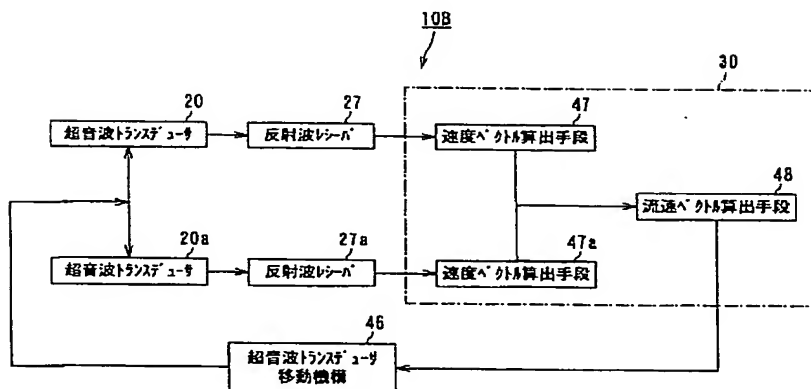
【図5】



【図7】



【図8】



【手続補正書】

【提出日】平成13年10月29日(2001. 10. 29)

【手続補正1】

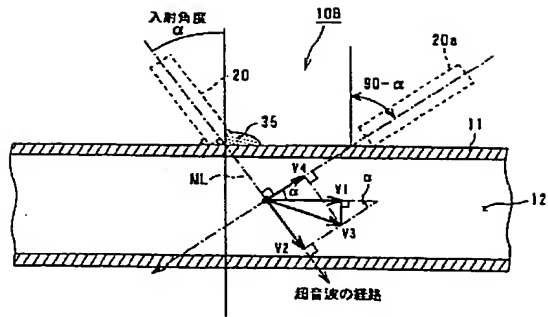
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図7

【補正方法】変更

【補正内容】

【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 手塚 健一

神奈川県横浜市鶴見区江ヶ崎町4番1号
東京電力株式会社原子力研究所内

(72)発明者 武田 靖

スイス 5200 ブルッグ レーブモースヴ
ェグ 75イー

Fターム(参考) 2F035 DA05 DA13 DA23

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record.**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.